

UNIVERSIDADE DE LISBOA

INSTITUTO DE GEOGRAFIA E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO



**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE BIOFÍSICA
DO SISTEMA DUNAR DE PENICHE-BALEAL**

Raquel Maria Paixão Pancada

Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território

Dissertação orientada pela Professora Doutora Ana Ramos-Pereira

2011

Where and when Man meets the coast, the natural system tends to be disturbed.

R.W.G. Carter (*Coastal environments: an introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines*, 1988, pp.357)

AGRADECIMENTOS

O gosto geomorfológico pelo litoral surgiu na licenciatura, na cadeira de Dinâmica dos Sistemas Litorais, despertado pelos ensinamentos da Professora Doutora Ana Ramos Pereira.

Com a Professora aprendi então muito, e tenho aprendido muito nestes anos de acolhimento no Centro de Estudos Geográficos do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa (CEG/IGOT-UL). Por sua sugestão dei continuidade ao trabalho de investigação iniciado com o Projecto de *Recuperação Biofísica do Cordão Dunar entre Peniche e o Baleal*, agora materializado nesta dissertação de Mestrado. Pela Professora tenho grande estima e gratidão. Foi constante o entusiasmo e apoio que dedicou à concretização desta dissertação, transmitindo-me valiosas sugestões e críticas. Agradeço-lhe muito.

No CEG/IGOT-UL conheci um extraordinário grupo de pessoas, a quem hoje tenho o privilégio de chamar amigos, cujo apoio se revelou fundamental na prossecução desta dissertação.

Estou muito grata ao Jorge Trindade pelas profícuas lições de GPS e Estação Total, monitorização de sistemas litorais e tratamento laboratorial de amostras de sedimentos. Contei com a sua entusiasta ajuda nas sessões de *brainstorming* que ocorreram amiúde no Laboratório de Geografia Física do CEG/IGOT-UL.

O Bruno Borges e a Francisca Gusmão foram os meus “companheiros” de aventura. Foram incansáveis nos levantamentos de campo auxiliando nas várias tarefas que foi necessário realizar (perfis, *checklists*, fotografias). Nesses dias o trabalho começou bem cedinho e prolongou-se até ao pôr-do-sol mas, na sua companhia, perdurou sempre a boa disposição! Agradeço-lhes muito.

Com a Professora, o Jorge, o Bruno e a Francisca debati resultados e clarifiquei ideias. Contei com o seu apoio e parceria na preparação de comunicações e artigos em congressos científicos. Não poderia deixar de agradecer-lhes novamente.

Aos demais amigos das “tertúlias científicas”, Aldina Piedade, Alexandre Trindade Nieuwendam, Alexandre Leandro, Ana Louro, Ana Mendes, Ana Salomé David, António Pedro Santos, Carlos Freitas, César Capinha, Clémence Guillard, Cristina Henriques, Diana Almeida, Eduardo Jonas Gomes, Estevão Portela-Pereira, João Gomes, João Araújo Gomes, Jorge Maurício, Jorge Rocha, Luís Cardoso, Nuno Jerónimo, Pedro Guimarães, Pedro Palma, Raquel Melo, Ricardo Braga, Ricardo Garcia, Sandra Oliveira, Sérgio Oliveira, Teresa Vaz, Vanessa Batista e Victor Jorge, estou muito grata pelas discussões enriquecedoras, ajuda técnica, encorajamento, confraternizações e não só.

Agradeço ao Professor Doutor Carlos Neto, do núcleo de investigação Clima e Mudanças Ambientais, do CEG/IGOT-UL, a amável ajuda na identificação de espécies de vegetação dunar.

Agradeço à Câmara Municipal de Peniche a atenciosa disponibilização de cartografia e documentação do sistema dunar.

Estou muito grata ao Sr. João Avelar, notável penichense, pela simpatia com que respondeu a algumas questões e pela prontidão com que aceitou disponibilizar uma foto de sua autoria (Foto 3.3. A).

Neste percurso contei com o apoio incondicional da minha família e namorado.

Agradeço muito à minha Mãe, Francisco, Maria, Ana, Miguel e Gustavo, por contribuírem diariamente para o meu bem-estar.

Ao Gonçalo, sempre presente nestes últimos cinco anos, agradeço-lhe muito, mas sobretudo o carinho com que aquietou o meu desassossego nos períodos mais críticos.

RESUMO

Os sistemas dunares litorais são muito dinâmicos e complexos, providos de mobilidade devido à localização estratégica que ocupam na interface hidrosfera-litosfera-atmosfera. Apresentam uma distribuição geográfica global em estreita relação com a existência de praias arenosas fornecedoras de sedimentos e de condições favoráveis de vento, agitação marítima e vegetação dunar.

Constituem, por excelência, uma protecção natural das terras emersas à acção erosiva das ondas e às inundações costeiras, protegendo populações, bens e infraestruturas litorais. Adicionalmente, revestem-se de extrema importância na conservação da natureza e biodiversidade e na exploração de recursos naturais susceptíveis de valorização económica, constituindo uma relevante plataforma de desenvolvimento económico.

As acções a que são sujeitos, decorrente da dinâmica natural e da acção antrópica, condicionam a sua evolução geomorfológica e têm efeitos na sua degradação e vulnerabilidade biofísica.

A presente dissertação objectivou realizar a avaliação da vulnerabilidade biofísica do sistema dunar de Peniche-Baleal (costa ocidental portuguesa) e elaborar uma proposta para o seu ordenamento e gestão. Trata-se de um sistema dunar que evidencia fortes indícios de erosão marinha e degradação antrópica denunciados pela presença de micro-arribas de erosão, caminhos (trilhos) não ordenados, brechas e *blowouts* na frente dunar.

A avaliação da vulnerabilidade biofísica do sistema dunar consistiu na: (i) análise da dinâmica natural; (ii) avaliação da pressão antrópica; (iii) aplicação de duas *checklists*; (iv) diferenciação espacial da vulnerabilidade biofísica.

As *checklists* identificaram como principais condicionantes da elevada vulnerabilidade do sistema a (i) ocorrência de formas de erosão; (ii) ausência de dunas embrionárias; (iii) pressão antrópica; (iv) ineficácia das medidas de ordenamento e gestão implementadas.

A proposta de ordenamento e gestão do sistema dunar (i) considera os principais problemas de vulnerabilidade identificados pelas *checklists*; (ii) elege algumas medidas de protecção “ligeira”; (iii) ordena por prioridade de execução as intervenções.

Palavras-chave: sistema dunar, vulnerabilidade biofísica, *checklists*, ordenamento e gestão.

ABSTRACT

Coastal dune systems are highly dynamic, complex and changeable due to the strategic location they occupy in the interface of the lithosphere, hydrosphere and atmosphere. They have a worldwide distribution but most coastal dunes form with the presence of sandy beaches with abundant sand supply and suitable winds, waves and vegetation.

Coastal dunes are the best natural protection of inland areas against marine erosion and coastal flooding, capable of protecting population, real estate and coastal infrastructures. In addition, they are very important areas for nature and biodiversity conservation and provide valuable natural resources, generating therefore an important platform for economic development.

Natural dynamic and human interference tend to modify the system's geomorphological evolution and may increase its degradation and biophysical vulnerability.

This dissertation aims to assess the biophysical vulnerability of the Peniche-Baleal dune system (Portuguese West Coast) and to suggest appropriate dune management measures. This dune system endures severe marine erosion and anthropogenic degradation confirmed by the widespread presence of a cliffed foredune, a network of paths and trails and foredune gaps and blowouts.

The biophysical vulnerability assessment of the dune system was accomplished by the following: (i) analyzing its natural dynamics; (ii) assessing anthropogenic influence; (iii) using two checklists; (iv) enabling its biophysical vulnerability spatial differentiation.

Checklists identified the dune system main vulnerability problems: (i) the occurrence of foredune erosional forms; (ii) absence of recent or embryonic dunes; (iii) uncontrolled anthropogenic pressure; (iv) ineffectiveness of protection measures in place.

The suggested dune management measures (i) consider dune main vulnerability problems identified by the checklists; (ii) select "soft" coastal protection measures; (iii) list measures execution by priority.

Keywords: dune system, biophysical vulnerability, checklists, management measures.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO.....	iii
ABSTRACT.....	v
ÍNDICE GERAL	v
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE QUADROS	xi
ÍNDICE DE FOTOS.....	xiii
1. ENQUADRAMENTO TEMÁTICO	1
1.1. O LITORAL: UM ESPAÇO APETECIDO	1
1.2. AS MUDANÇAS AMBIENTAIS	2
1.3. OS IMPACTES DAS MUDANÇAS AMBIENTAIS NOS SISTEMAS DUNARES LITORAIS.....	4
1.4. A IMPORTÂNCIA DA GESTÃO INTEGRADA DA ZONA COSTEIRA (GIZC)	13
2. OBJECTIVOS E METODOLOGIA.....	17
2.1. OBJECTIVOS	17
2.2. DOCUMENTAÇÃO UTILIZADA, MÉTODOS E TÉCNICAS.....	19
2.2.1. DOCUMENTAÇÃO CARTOGRÁFICA, ESTATÍSTICA E <i>SOFTWARE</i>	19
2.2.2. OS LEVANTAMENTOS DE CAMPO	22
2.2.2.1. OS PERFIS TOPOGRÁFICOS E GEO-ECOLÓGICOS	22
2.2.2.2. A RECOLHA DE AMOSTRAS DE SEDIMENTOS PRESENTES NA FRENTE DUNAR.....	24
2.2.2.3. A REDE DE CAMINHOS NÃO ORDENADOS	25
2.2.2.4. AS <i>CHECKLISTS</i>	25
2.2.3. O TRATAMENTO LABORATORIAL.....	28
3. O SISTEMA DUNAR DE PENICHE-BALEAL	31
3.1. ENQUADRAMENTO ESPAÇO-TEMPORAL.....	31
3.2. TRAÇOS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO	35
3.3. A DINÂMICA EÓLICA E OS FACTORES CONDICIONANTES	44
3.4. A DINÂMICA MARINHA E OS FACTORES CONDICIONANTES.....	48
3.5. OS SEDIMENTOS DA FRENTE DUNAR.....	53
3.6. A VEGETAÇÃO DUNAR	61
3.7. A ACÇÃO ANTRÓPICA	73
3.7.1. OS USOS DO SISTEMA DUNAR	74
3.7.2. A REDE DE CAMINHOS NÃO ORDENADOS	75

3.7.3. AS MEDIDAS DE ORDENAMENTO E GESTÃO	78
3.8. SÍNTESE.....	81
4. AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE BIOFÍSICA DUNAR PELO MÉTODO DAS <i>CHECKLISTS</i>	85
4.1. A DIVERSIDADE DO SISTEMA DUNAR	86
4.2. A APLICAÇÃO DA <i>CHECKLIST 1</i> – LISTA DE CONTROLO DE VULNERABILIDADE DUNAR	86
4.3. APLICAÇÃO DA <i>CHECKLIST2</i> – LISTA DE CONTROLO DE RESILIÊNCIA DUNAR	92
4.4. DISCUSSÃO	96
5. BREVE ABORDAGEM AO ORDENAMENTO E GESTÃO DE SISTEMAS DUNARES LITORAIS	101
5.1. A PROTECÇÃO “LIGEIRA” DO LITORAL	102
5.1.1. A ALIMENTAÇÃO ARTIFICIAL DE PRAIAS	103
5.1.2. A PROTECÇÃO E RECONSTITUIÇÃO DE DUNAS LITORAIS	107
5.1.2.1. A ALIMENTAÇÃO E CONSTRUÇÃO ARTIFICIAL DE DUNAS	107
5.1.2.2. O REPOVOAMENTO VEGETAL E ARMADILHAS DE AREIA	109
5.1.2.3. O CONDICIONAMENTO DE ÁREAS VULNERÁVEIS E O ORDENAMENTO DE CAMINHOS DE ACESSO PEDONAL	113
5.2. A PROPOSTA DE ORDENAMENTO E GESTÃO DO SISTEMA DUNAR DE PENICHE-BALEAL	117
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	123
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	127
ANEXO I.....	137
ANEXO II.....	141
ANEXO III.....	145
ANEXO IV.....	147
ANEXO V.....	149

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. <i>Continuum</i> morfodinâmico do sistema praia-duna e sua variação estacional.	5
Figura 1.2. Tendência evolutiva dos sistemas dunares face à emergência da subida relativa do nível médio do mar.	8
Figura 1.3. Evolução da linha de costa após a implantação de esporões.	11
Figura 2.1. Modelo conceptual ilustrativo da abordagem metodológica.	20
Figura 3.1. Localização geográfica da Península de Peniche (A) e do sistema dunar de Peniche-Baleal (B).	31
Figura 3.2. Traçado aproximado da linha de costa na região de Peniche há 18 000 anos BP (A); 16 000 anos BP (B); 13 000-11 000 anos BP (C); 10 000 anos BP (D).	33
Figura 3.3. Traçado aproximado da linha de costa (a vermelho) na região de Peniche há cerca de 5 000–3 000 anos BP.	34
Figura 3.4. Assoreamento litoral da região de Peniche. Constituição do sistema dunar e tómbolos durante os séculos XII (A); XIV (B); XV (C); XVI (D).	36
Figura 3.5. Esquízo geomorfológico do sistema dunar de Peniche-Baleal e área envolvente.	38
Figura 3.6. Localização dos perfis topográficos realizados no sistema dunar de Peniche-Baleal (Primavera de 2008).	41
Figura 3.7. Perfis topográficos do sistema dunar de Peniche-Baleal (Primavera de 2008).	42
Figura 3.8. Observação anual e mensal da velocidade média, direcção e frequência do vento, para a estação metereológica de Cabo Carvoeiro.	46
Figura 3.9. Gráfico termopluiométrico com indicação da humidade atmosférica média mensal, para a estação metereológica de Cabo Carvoeiro.	47
Figura 3.10. Altura significativa (H_s) e altura máxima (H_{max}) das ondas registadas nas bóias ondógrafo de Leixões e Sines (A); Mapa de localização (B).	49
Figura 3.11. Incisão do Canhão submarino da Nazaré na plataforma continental.	52
Figura 3.12. Localização das amostras de sedimentos recolhidos na frente dunar.	54
Figura 3.13. Histogramas de granulometrias, média (x), desvio-padrão (δ), assimetria (Sk), curtose (K_G) e calcimetria dos sedimentos recolhidos na frente dunar.	55
Figura 3.14. Gráfico de dispersão dos sedimentos recolhidos na frente dunar que estabelece a relação entre a média (x) e o desvio-padrão (δ).	57
Figura 3.15. Curvas granulométricas de frequências cumulativas dos sedimentos recolhidos na frente dunar.	59
Figura 3.16. Sucessão geo-ecológica de sistemas dunares litorais.	62
Figura 3.17. Classificação morfodinâmica da duna frontal com base na taxa de cobertura da vegetação dunar.	64
Figura 3.18. Perfis geo-ecológicos do sistema dunar de Peniche-Baleal (Primavera de 2008)	68

Figura 3.19. Quantificação das espécies de vegetação dunar presentes nos distintos tipos morfo-ecológicos de duna, identificados nos seis perfis geo-ecológicos realizados sistema dunar de Peniche-Baleal (Primavera de 2008).	73
Figura 3.20. Rede de caminhos não ordenados indenticada no sistema dinar de Peniche-Baleal.	77
Figura 3.21. Medidas de ordenamento e gestão implementadas no sistema dunar de Peniche-Baleal.	79
Figura 4.1. Sectores dunares individualizados no sistema dunar de Peniche-Baleal.	87
Figura 4.2. Avaliação das secções de vulnerabilidade dos sectores dunares individualizados no sistema dunar de Peniche-Baleal, com base na <i>checklist</i> 1 – lista de controlo de vulnerabilidade dunar (Primavera de 2008).	89
Figura 4.3 Avaliação das secções de vulnerabilidade dos sectores dunares individualizados no sistema dunar de Peniche-Baleal, com base na <i>checklist</i> 2 – lista de controlo de resiliência dunar (Primavera de 2008).	93
Figura 5.1. Possíveis áreas de deposição de sedimentos em projectos de alimentação e construção artificial de dunas.	107
Figura 5.2. Efeito das armadilhas de areia no crescimento horizontal e vertical das dunas pela retenção e deposição de sedimentos eólicos.	113
Figura 5.3. Proposta de algumas medidas de ordenamento e gestão do sistema dunar de Peniche-Baleal.	119

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1.1. Potencias impactos nos sistemas praia-duna decorrentes das alterações climáticas mais relevantes no contexto do litoral.	9
Quadro 2.2. Informação da base virtual de referência utilizada para o pós-processamento dos dados dGPS.	24
Quadro 2.2. Parâmetros removidos da <i>checklist</i> 1, aplicabilidade aos sectores individualizados e justificação.	27
Quadro 2.3. Parâmetros removidos da <i>checklist</i> 2, aplicabilidade aos sectores individualizados e justificação.	29
Quadro 3.1. Descrição dos perfis topográficos realizados no sistema dunar de Peniche-Baleal (Primavera de 2008).	41
Quadro 3.2. Previsão de períodos de retorno de alturas significativas de tempestade (H_{st}) e de alturas máximas (H_{max}) >5 m ao largo de Peniche.	50
Quadro 3.3. Terminologia utilizada na classificação da dimensão dos grãos de areia.	54
Quadro 3.4. Terminologia utilizada na classificação dos parâmetros granulométricos de desvio-padrão (δ), assimetria (Sk) e curtose (K_G).	56
Quadro 3.5. Características da população central e da população residual dos sedimentos recolhidos na frente dunar.	58
Quadro 3.6. Descrição dos perfis morfo-ecológicos realizados no sistema dunar de Peniche-Baleal (Primavera de 2008).	71
Quadro 3.7. Classificação da largura e comprimento dos caminhos não ordenados do sistema dunar de Peniche-Baleal.	75
Quadro 4.1. Descrição dos sectores dunares individualizados no sistema dunar de Peniche-Baleal.	88
Quadro 4.2. Valores de vulnerabilidade obtidos para VI, PM e VI/PM nos sectores dunares individualizados no sistema dunar de Peniche-Baleal.	91
Quadro 4.3. Valores de vulnerabilidade obtidos para VM, OTA e AT nos sectores dunares individualizados no sistema dunar de Peniche-Baleal.	95
Quadro 4.4. Síntese dos resultados obtidos pela aplicação das <i>checklists</i> 1 e 2 nos sectores dunares individualizados no sistema dunar de Peniche-Baleal (Primavera de 2008).	97

ÍNDICE DE FOTOS

Fotos 2.1. Unidade dGPS com bastão vertical e antena receptora (A); Pormenor da unidade dGPS (B).	23
Fotos 2.2. Locais de recolha de amostras, exemplo para as amostras A6 FD e A6 OW. Base da frente dunar (A); Duna frontal com indício de galgamento oceânico (B).	25
Fotos 3.1. Frente dunar cortada em arriba, com cerca de 3 m de comando (A); Crista de duna frontal (B); Duna artificial (C); Plataforma rochosa (D); Incisão de brechas na duna frontal (E); <i>Blowout</i> na duna frontal (F); Indício de galgamento oceânico a sotavento da duna frontal (G); Crista de duna parabólica (H); Depressão húmida (I); Indícios de campismo selvagem (J).	40
Fotos 3.2. Caminho não ordenado sobre duna frontal (A); Talude artificial declivoso (B); Duna frontal instabilizada (C); Superfície plana e crista de duna frontal (D); Degradação da crista de duna frontal (E); Cristas e depressões interdunares a sotavento da duna frontal (F); Brechas na duna frontal (G); Depressão interdunar (H); Duna frontal cortada por brechas e <i>blowouts</i> (I); Crista de duna frontal (J).	43
Fotos 3.3. Erosão marinha da frente dunar por ocasião de tempestade (Março de 2008). Galgamento oceânico da duna frontal (A); Micro-arriba de erosão na duna frontal (B). ..	53
Fotos 3.4. Exemplos de espécies de vegetação dunar presentes nos distintos tipos morfo-ecológicos de duna identificados no sistema dunar de Peniche-Baleal. Duna branca (A, B, C e H); Duna cinzenta (D, E, F, H, I e J); Duna verde (G, H, I e J).	66
Fotos 3.5. Duna branca com <i>Ammophila arenaria</i> (A); Contacto da duna verde com a duna branca (B); Morfologia da duna branca moldada em cristas em forma de cúpula (C); Duna verde com <i>Juniperus turbinada</i> (D); Extensão de duna cinzenta e duna verde (E); Duna verde com <i>Armeria welwitschii</i> (F); Extensão da duna cinzenta (G); Retalho de duna verde (H); Vegetação na duna branca (I); Contacto da duna branca com a duna cinzenta (J). ..	72
Fotos 3.6. Pisoteio da duna frontal promovido por veraneantes e desportistas (A e B); Circulação de veículos automóveis (C e D); Estacionamento não ordenado (E); Rampa de acesso (F); Utilização da duna frontal como extensão da praia (G e H); Campo de tiro e pormenor dos fragmentos deixados no solo (I); Depósito de entulho (J).	76
Fotos 3.7. Alinhamento de vegetação (A); Armadilhas de areia construídas com caniços (B); Enrocamento da base da duna artificial (C); Esporão (D); Estrados de plástico e madeira junto a um apoio de praia (E); Armadilhas de areia de malha sintética (F e G); Escadas e passagem sobrelevadas (H e I); Painel informativo (J).	82
Fotos 4.1. Área de instalação de armadilhas de areia com comprovada acumulação de sedimentos eólicos (A); Pormenor do caminho não ordenado de acesso pedonal existente junto às armadilhas de areia (B).	99
Fotos 5.1. Dragagem de sedimentos da plataforma continental através de tubagem metálica submarina, aquando da alimentação artificial da praia de Captiva Beach (Florida, EUA) (A); Pormenor da mobilização mecânica dos sedimentos.	104
Fotos 5.2. Miami Beach (Florida, EUA) antes (A) e depois (B) dos trabalhos de alimentação artificial da praia.	105
Fotos 5.3. Costa da Caparica antes (A) e depois (B) dos trabalhos de alimentação artificial da praia.	106

Fotos 5.4. Troço ocidental da Península de Cacela antes (A) e depois (B) dos trabalhos de reconstituição da duna frontal e de encerramento da barra.	109
Fotos 5.5. Repovoamento vegetal do sistema dunar de Leirosa (A); Aparecimento de vegetação dunar espontânea (B).	111
Fotos 5.6. Vedações de madeira no sistema dunar de Leirosa (A); Escadas sobrelevada de acesso pedonal (B).	115

1. ENQUADRAMENTO TEMÁTICO

Os sistemas litorais são sistemas muito dinâmicos e complexos, providos de mobilidade devido à localização estratégica que ocupam na interface hidrosfera-litosfera-atmosfera. Comportam uma enorme diversidade de formas litorais, tais como praias, dunas, ilhas-barreira, restingas, deltas, em litorais arenosos, bem como em diversos tipos de desembocaduras de cursos de água (Ramos-Pereira, 2008b). A aludida diversidade é expressão da dinâmica sedimentar e da variabilidade das escalas temporais que as originam, desde milhares a centenas de anos, como mencionam Bird (2008), Carter (1988), Davis & FitzGerald (2004), Schwartz (2005) e Viles & Spencer (1995).

Por acolherem uma enorme diversidade de ecossistemas naturais, os sistemas litorais revestem-se de extrema importância na conservação da natureza e biodiversidade e na exploração de recursos naturais susceptíveis de valorização económica.

A importância da valorização económica dos recursos naturais foi avaliada por Costanza *et al* (1997) por meio de uma análise pioneira que possibilitou identificar 17 categorias de serviços e funções (exemplo de regulação atmosférica, climática e hidrológica; de produção de nutrientes, *habitat* e alimento) providenciados pelos ecossistemas naturais do planeta, marinhos e terrestres, entre eles os sistemas litorais (Costanza *et al*, 1997; Ramos-Pereira, 2001). O valor total estimado obtido, referente à contribuição de todos os serviços e funções providenciados por todos os ecossistemas do planeta, avultou cerca de \$33 biliões de US dólares/ano¹. Deste valor, os sistemas litorais contribuem com \$13 biliões de US dólares/ano, 39% do valor total, valor bastante significativo tendo em consideração a modesta expressão espacial que os sistemas litorais ocupam na superfície terrestre do planeta, apenas 6% (Costanza *et al*, 1997; Ramos-Pereira, 2001).

A investigação de Costanza *et al* (1997) reconhece a importância dos sistemas litorais enquanto espaços que providenciam um vasto conjunto de recursos naturais imprescindíveis à vida e sociedade humana mas, mais importante, alerta para a necessidade do seu uso sustentável de modo a evitar a degradação dos ecossistemas naturais e a delapidação dos recursos naturais.

1.1. O LITORAL: UM ESPAÇO APETECIDO

O litoral exerce desde tempos históricos grande atractividade sobre populações e actividades antrópicas, decorrente dos seus recursos naturais, beleza cénica, amenidade do clima, localização privilegiada para defesa do território e trocas comerciais (Andrade, 1997; Bird, 2008; Carter, 1988;

¹ US dólar valorizado com referência ao ano de 1994 (Costanza *et al*, 1997).

Davis & FitzGerald, 2004; Dias, 2005; FitzGerald *et al*, 2008; Nordstrom, 2000; Ramos-Pereira, 2008a; Viles & Spencer, 1995).

No último século o litoral foi alvo de intensa ocupação antrópica devido ao desenvolvimento da actividade balnear e do êxodo rural, originando a crescente migração para os grandes centros urbanos litorais e a generalização do fenómeno de litoralização do território, *i.e.*, concentração geográfica da população, actividades económicas e infraestruturas no litoral.

Segundo a *United Nations Environmental Programme* (UNEP, 2007), cerca de 60% da população mundial vive, actualmente, no litoral, numa faixa de 100 km. Ideia reforçada por McGranahan *et al* (2007) que afirma que cerca de 634 milhões de habitantes, 10% da população mundial, vivem em áreas litorais com altitude ≤ 10 m, as designadas *Low Elevation Coastal Zones* (LECZ). No caso português, Andrade *et al* (2006) e Ferreira *et al* (2008) estimam que o litoral acolha 60% da população e os grandes centros urbanos onde se concentram os principais centros de decisão política e económica.

A litoralização tem sido, regra geral, rápida, sem qualquer critério de ordenamento do território, o que originou a ocupação e uso antrópico insustentável dos sistemas litorais, com consequências na sua degradação e na dos ecossistemas naturais que estes acolhem (FitzGerald *et al*, 2008; IPCC, 2007; MAOTDR, 2007; McGranahan *et al*, 2007; Nicholls, 2002; Ramos-Pereira, 2004; Schwartz, 2005; UNEP, 2007; Viles & Spencer, 1995).

A manutenção da tendência de litoralização certamente agravará a sua degradação, deixando sistemas litorais, ecossistemas naturais, populações, bens e infraestruturas, vulneráveis às recorrentes perigosidades naturais que afectam o litoral, como sejam a erosão marinha, os galgamentos oceânicos, as inundações costeiras, as tempestades, o *storm surge* e os *tsunami*, que poderão resultar em elevados danos ambientais e socioeconómicos, como é reconhecido por muitos autores, tais como FitzGerald *et al* (2008), IPCC (2007), McGranahan *et al* (2007), Nicholls (2002), Ramos-Pereira (2004), Schwartz (2005), UNEP (2007) e Viles & Spencer (1995).

1.2. AS MUDANÇAS AMBIENTAIS

Adicionalmente, as alterações climáticas terrestres e as actividades antrópicas, como factores forçadores das mudanças ambientais, fazem prever alguns impactos significativos sobre os sistemas litorais e ecossistemas naturais que estes acolhem, com efeitos na sua vulnerabilidade biofísica, constituindo um verdadeiro desafio ambiental e socioeconómico que as populações a viver nestas áreas e que os Governos nacionais terão de enfrentar (FitzGerald *et al*, 2008; IPCC, 2007; McGranahan *et al*, 2007; Nicholls, 2002; Ramos-Pereira, 2004; Santos, 2006; UNEP, 2007; Viles & Spencer, 1995).

A reconstituição histórica do clima terrestre revela frequentes alterações climáticas induzidas por causas naturais que, actuando a diferentes escalas temporais e com diferente periodicidade, induzem mudanças ambientais e nos processos geomorfológicos (Ferreira, 2002; Santos, 2006).

O presente aquecimento global, *i.e.*, aumento da temperatura média global da atmosfera à superfície, é imputável pelas alterações climáticas terrestres recentes (IPCC, 2007; Santos, 2006). Várias observações meteorológicas apontam para o aumento progressivo da temperatura média do ar e do oceano desde meados do século XX.

Segundo dados apurados pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2007), 11 dos 12 anos referentes ao período de 1995-2006, inserem-se na categoria dos anos mais quentes desde que há registo (desde 1850). A mesma instituição revela que nos últimos 50 anos (período de 1956-2005) a temperatura média global aumentou a um ritmo de 0,13°C/década.

A contribuição das actividades antrópicas nas alterações climáticas terrestres recentes permanece questionável e é, actualmente, tema de acesa discussão científica. Sabe-se, contudo, que a acção antrópica é significativa no que concerne à emissão para a atmosfera de gases com efeito de estufa (GEE), agravando o fenómeno de aquecimento global. A concentração atmosférica de GEE, tais como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O₂), ozono (O₃), clorofluorcarbonetos (CFC's), hidroclorofluorcarbonetos (HCFC's), entre outros de menor importância, tem aumentado significativamente desde tempos pré-industriais (desde 1750) em resultado das actividades antrópicas, nomeadamente da queima de combustíveis fósseis para a produção de energia (indústria, transportes) e da desflorestação, verificando-se o incremento em 70% das emissões no período de 1974-2004, como mencionam IPCC (2007) e Santos (2006).

Andrade *et al* (2006), Bird (2008), Carter (1991, 1988), Davis & FitzGerald (2004), Ferreira *et al* (2008), FitzGerald *et al* (2008), IPCC (2007), Nicholls (2002) e Voice *et al* (2006) referem que a subida relativa do nível médio do mar, resultante da expansão térmica da camada superficial dos oceanos e do degelo das calotes polares em consequência do aquecimento global, será, potencialmente, um factor desencadeante de graves problemas litorais, sobretudo os relacionados com a erosão marinha, o recuo da linha de costa e a destruição de infraestruturas litorais.

De acordo com o IPCC (2007), no período de 1961-2003, o nível médio do mar subiu a uma taxa média global de 1,8 mm/ano. Nas últimas duas décadas este valor agravou-se para 3,1 mm/ano. A mesma instituição, com base em modelos climáticos e cenários socioeconómicos, estima que no final do século XXI o nível médio do mar subirá entre 180 a 590 mm.

A subida relativa do nível médio do mar não será uniforme em todas as bacias oceânicas e regiões do mundo devido à variabilidade dos factores regionais: (i) volume de água que cada bacia

comporta; (ii) variação geográfica da expansão térmica, da salinidade das massas oceânicas, dos ventos e dos organismos isobáricos; (iii) circulação oceânica, de acordo com a opinião expressa por Davis & FitzGerald (2004), FitzGerald *et al* (2008), IPCC (2007), Nicholls (2002) e Santos (2006). De facto, os modelos de previsão indicam que a elevação será superior à média global no oceano Ártico e inferior no oceano Austral (IPCC, 2007; Santos, 2006).

No caso de Portugal, investigação preliminar realizada por Dias & Taborda (1988) revela que, no último século, o valor da subida relativa do nível médio do mar na estação maregráfica de Cascais (a funcionar desde 1882) foi 1,5 mm/ano. Dados mais recentes de Antunes & Taborda (2009) para a mesma estação maregráfica mostram que nas décadas de 1990 e 2000 o valor da subida relativa do nível médio do mar incrementou para 2,1 mm/ano e 2,5 mm/ano, respectivamente. Estes autores, através da extrapolação dos dados obtidos, projectam que a subida relativa do nível do mar alcançará em Portugal, no final do século XXI, valores na ordem dos 470 mm, com intervalo de confiança de 95% entre 190-750 mm.

Santos (2006) afirma que estes valores projectados tendem a agravar-se e a anteciparem-se até ao final do século XXI, uma vez que *o tempo de resposta dos oceanos ao aumento do efeito de estufa é superior a 500 anos devido à sua maior inércia térmica*, isto significa que *se fosse possível interromper total e imediatamente as emissões antropogénicas de gases com efeito de estufa, o nível médio do mar continuaria a elevar-se durante os próximos 500 anos*.

Assim sendo, a subida relativa do nível médio do mar neste século, e nos próximos, parece inevitável. Será particularmente gravosa para os sistemas litorais baixos e arenosos, de que são exemplo os sistemas dunares litorais, objecto de estudo desta dissertação, muito vulneráveis por serem compostos por sedimentos não consolidados, nomeadamente os transportados pela acção do vento, e parcialmente estabilizados pela vegetação dunar (Bird, 2008; Carter, 1991; Davis & FitzGerald, 2004; Goudie, 2003; Psuty, 2004; Schwartz, 2005; Viles & Spencer, 1995).

Outras consequências das alterações climáticas são o aumento da frequência e magnitude de alguns fenómenos climáticos extremos (exemplo de tempestades e *storm surge*) e as modificações nos quantitativos e na distribuição espacial e temporal da precipitação, como salientam Ferreira *et al* (2008), FitzGerald *et al* (2008), IPCC (2007), Nicholls (2002), Santos (2006), UNEP (2007) e Voice *et al* (2006).

1.3. OS IMPACTES DAS MUDANÇAS AMBIENTAIS NOS SISTEMAS DUNARES LITORAIS

Os sistemas dunares litorais apresentam uma distribuição geográfica global em estreita relação com a existência de praias arenosas fornecedoras de sedimentos e de condições favoráveis de vento, agitação marítima e vegetação dunar, como reconhecem vários autores (Andrade, 1997;

Bird, 2008; Carter, 1991, 1988; Davis & FitzGerald, 2004; Goudie, 2003; Hesp, 2002; Martínez *et al*, 2004a; Paskoff, 1998; Psuty, 2004; Pye *et al*, 2007a; Ramos-Pereira, 2008a, 2008b, 1987; Schwartz, 2005; Viles & Spencer, 1995).

Com efeito, os sistemas dunares litorais e as praias constituem um sistema dinâmico, o sistema praia-duna, onde as permanentes trocas de sedimentos entre uma e outra entidade morfológica – *continuum* morfodinâmico – existem em resposta às variações do clima de agitação marítima (com marcada diferenciação sazonal, mais energética no Inverno do que no Verão), de modo a permitir a manutenção do designado perfil transversal de equilíbrio dinâmico que possibilita a dissipação da energia das ondas sem perdas de sedimentos para fora do sistema (Figura 1.1.). Ramos-Pereira (2004) afirma que este *continuum* morfodinâmico é tão importante que o desaparecimento de uma destas entidades morfológicas conduz ao desaparecimento da outra.

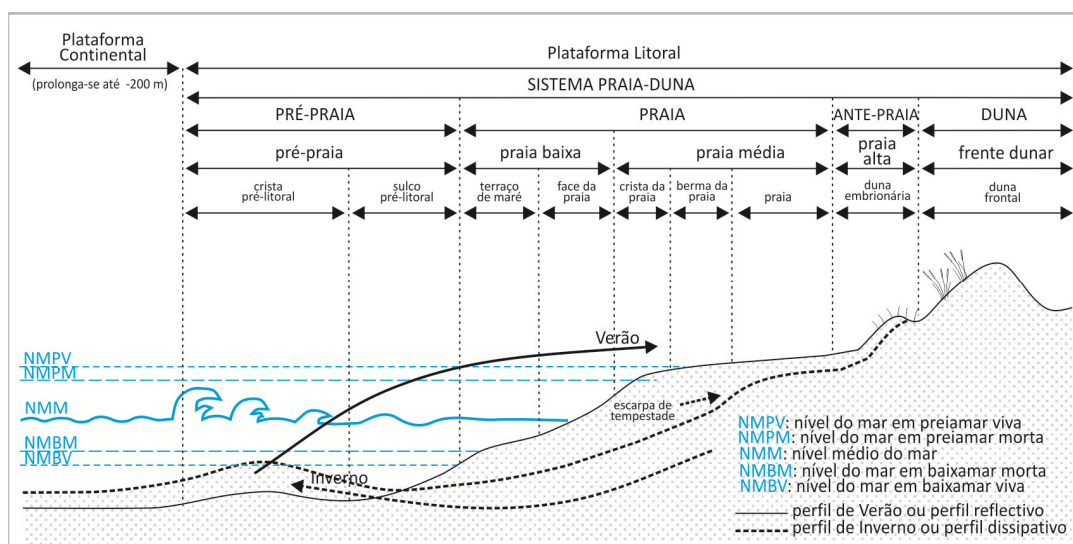


Figura 1.1. *Continuum* morfodinâmico do sistema praia-duna e sua variação estacional. Perfil reflectivo: a ondulação pouco energética permite a formação dos vários elementos morfodinâmicos e o transporte de sedimentos da pré-praia ou crista pré-litoral para a praia, aumentando a sua largura e disponibilizando sedimentos para a frente dunar; Perfil dissipativo: a ondulação muito energética suaviza o perfil transversal formando uma rampa rectilínea, onde se pode reconhecer uma escarpa de tempestade, que possibilita que as ondas atinjam a frente dunar mobilizando sedimentos para a pré-praia, originando a formação de uma crista pré-litoral mais destacada (Adaptado de Moreira, 1984; Ramos-Pereira, 2001; Trindade, 2010).

Devido à sua localização privilegiada, na interface oceano-plataforma litoral, os sistemas dunares litorais detêm uma beleza cénica ímpar, atraindo populações e actividades económicas, principalmente as ligadas ao turismo e lazer, constituindo uma importante plataforma de desenvolvimento económico, com expressão local e regional. Contudo, e sintetizando a opinião de vários autores (Andrade, 1997; Bird, 2008; Carter 1991, 1988; Davis & FitzGerald, 2004; Martínez *et al*, 2004a; Paskoff, 1998; Pye *et al*, 2007a; Ramos-Pereira, 2004; van der Meulen & Salman, 1996; van der Meulen *et al*, 1991; Viles & Spencer, 1995), os sistemas dunares, para além do valor

cénico, desempenham outras funções importantes susceptíveis de beneficiar a vida e sociedade humana:

- (i) constituem, por excelência, uma protecção natural das terras emersas à acção erosiva das ondas e às inundações costeiras, especialmente durante episódios de tempestades e *storm surge*, protegendo populações, bens e infraestruturas que se localizam em espaço dunar e nas áreas contíguas;
- (ii) detêm elevado valor ecológico uma vez que acolhem inúmeras espécies de flora e fauna, muitas delas endémicas e com estatuto de protecção, e enorme interesse para a conservação da natureza e biodiversidade;
- (iii) possibilitam a recarga e protecção de sistemas aquíferos, a primeira decorrente da permeabilidade dos sedimentos não consolidados, a segunda, por constituírem um obstáculo à intrusão da cunha salina (água salgada) nas toalhas freáticas, e por este motivo, explorados para captação de água subterrânea;
- (iv) possibilitam a extracção de inertes devido à disponibilidade de sedimentos arenosos não consolidados.

Na emergência da subida relativa do nível médio do mar, sabe-se que a acção das ondas se fará sentir a cotas mais elevadas, compelindo a erosão marinha, que actuando sobre acumulações arenosas pouco consolidadas facilmente mobilizará os sedimentos da praia e da frente dunar para a praia pré-praia ou até mesmo para áreas mais exteriores – *offshore* – da plataforma continental (Carter, 1991, 1988).

A erosão marinha será potencialmente mais severa em episódios de tempestade ou *storm surge*, pois as ondas energéticas de tempestade, ao rebentarem mais próximo da linha de costa, conseguirão penetrar mais para o interior, facilitando a ocorrência de galgamentos oceânicos da praia e dunas, aumentando o risco de inundações costeiras e a probabilidade de destruição de infraestruturas litorais. Em Portugal, Taborda & Dias (1992) referem que foram registados nas estações maregráficas de Leixões, Aveiro, Cascais, Lisboa, Tróia, Sines e Lagos, valores de *storm surge* a variar entre 400-1 200 mm, por ocasião do temporal de Dezembro de 1981.

A este propósito Carter (1991) expressa que, com o agravamento da subida relativa do nível médio do mar, a frequência e magnitude de *storm surge* aumentará e o período de retorno de *storm surge* com determinada magnitude diminuirá, sugerindo que a erosão marinha dos sistemas dunares será mais frequente.

Foi com a preocupação de compreender a evolução geomorfológica dos sistemas litorais baixos e arenosos, nomeadamente dos sistemas praia-duna, face à subida relativa do nível médio do mar

que Bruun (1954 *in* Schwartz, 2005) propôs um modelo de previsão da erosão marinha. Este modelo, conhecido como a Regra de Bruun parte da assumpção que (i) os sedimentos da pré-praia se encontram a uma profundidade constante; (ii) não são mobilizados para fora do sistema dinâmico; (iii) o perfil transversal deste sistema tende para um equilíbrio dinâmico.

O modelo de Bruun prevê que a subida relativa do nível médio do mar irá promover a erosão marinha dos sistemas praia-duna até estes estabelecerem um novo perfil transversal de equilíbrio dinâmico, isto é, a linha de costa recuará até que o volume de sedimentos retirados da duna frontal ou praia alta iguale o volume de sedimentos acumulados na pré-praia permitindo a sua deposição a uma profundidade suficiente para dissipar a energia das ondas incidentes e minimizar a erosão marinha (Bird, 2008; Carter, 1991, 1988; Cooper & Pilkey, 2004; Goudie, 2003; Schwartz, 2005). Goudie (2003) e Schwartz (2005) evidenciam que a aplicação do modelo de Bruun a distintos sistemas praia-duna resulta em valores de erosão 50 a 100 vezes superiores ao valor da subida relativa do nível médio do mar. Assim, para um valor de subida relativa do nível médio do mar de 1,5 mm/ano será expectável um valor de recuo da linha de costa compreendido entre 75 e 150 mm/ano.

Este modelo é criticado por vários autores, tais como Bird (2008), Carter (1991, 1988), Cooper & Pilkey (2004), Davis & FitzGerald (2004), Goudie (2003), Pye *et al* (2007b), Schwartz (2005) e Viles & Spencer (1995) relativamente à simplicidade das suas assumpções. Cooper & Pilkey (2004) questionam mesmo a sua presente aplicabilidade. Carter (1991), por sua vez, adverte para o facto de que o perfil transversal de equilíbrio dinâmico pode não ser atingido se a disponibilidade dos sedimentos sofrer modificações devido: (i) à mobilização para outros sistemas a sotamar, por acção da deriva litoral; (ii) à mobilização para áreas mais exteriores da plataforma continental, por acção das correntes marítimas; (iii) à mobilização eólica para áreas mais interiores da plataforma litoral; (iv) à redução do afluxo de sedimentos ao litoral transportado pelos cursos de água.

De facto, sabe-se que os cursos de água, os grandes fornecedores de sedimentos ao litoral, na emergência da subida relativa do nível médio do mar convertem as suas desembocaduras em áreas de recepção e deposição de sedimentos de modo a adaptarem-se ao novo nível de base (o nível médio do mar) e a regularizarem o seu perfil de equilíbrio, com consequências na redução do transporte fluvial de sedimentos para a plataforma continental e no agravamento dos fenómenos erosivos (Dias, 2005, 1990; Ferreira *et al*, 2008).

Assim, na iminência da subida relativa do nível médio do mar, Carter (1991) aponta algumas tendências evolutivas dos sistemas praia-duna (Figura 1.2.):

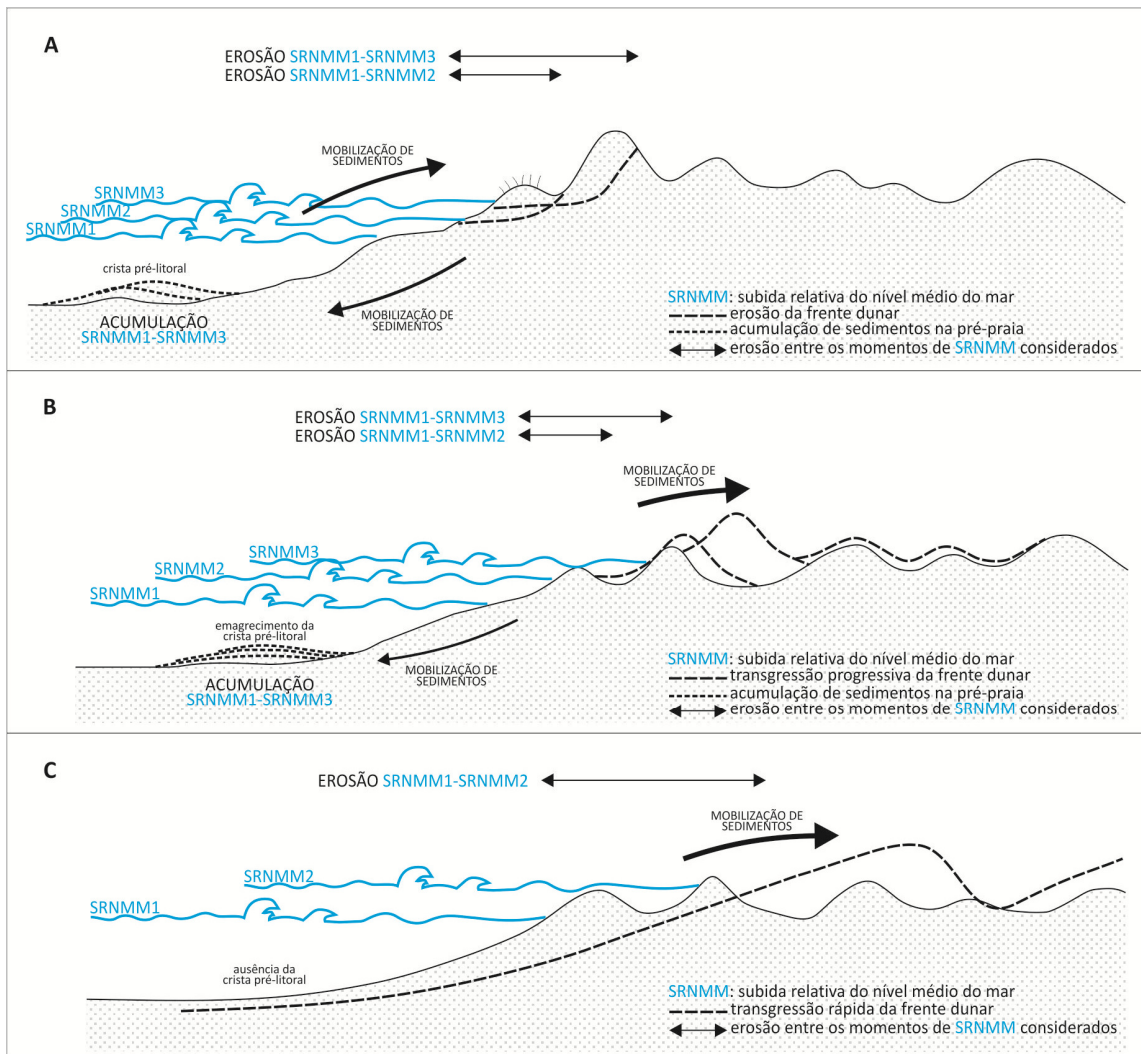


Figura 1.2. Tendência evolutiva dos sistemas dunares face à emergência da subida relativa do nível médio do mar. Adaptação ao novo nível do mar (A); Transgressão progressiva do sistema dunar (B); Forte comportamento transgressivo (C) (Adaptado de Carter, 1991).

- (i) adaptação ao novo nível do mar, verificando-se ciclos de erosão/acreção de sedimentos na frente dunar mas conservando a tendência de estabelecer o perfil transversal de equilíbrio dinâmico (tendência tipificada pelo Modelo de Bruun), podendo distinguir-se a predominância de um perfil com comportamento reflectivo;
- (ii) transgressão progressiva, com a frente dunar a migrar progressivamente para o interior da plataforma litoral na impossibilidade do sistema estabelecer o perfil transversal de equilíbrio dinâmico devido à insuficiência de sedimentos na pré-praia e ao emagrecimento da crista pré-litoral (*deficit* de sedimentos no sistema), podendo distinguir-se a predominância de um perfil com comportamento intermédio entre características reflectivas e dissipativas;
- (iii) forte comportamento transgressivo, caracterizado pela mobilização total e rápida da frente dunar. Devido à indisponibilidade de sedimentos na pré-praia e à ausência da crista pré-litoral (agravamento do *deficit* de sedimentos no sistema) a energia das ondas não é dissipada e a sua

acção faz-se sentir mais energeticamente no sistema praia-duna, com consequências na sua erosão, podendo distinguir-se a predominância de um perfil com comportamento que se assemelha ao dissipativo, mas com ausência da crista pré-litoral.

Este autor destaca ainda a importância da vegetação dunar nestas tendências evolutivas, afirmando que a erosão do sistema praia-duna poderá agravar-se se a vegetação dunar for ausente ou ineficaz na retenção e estabilização dos sedimentos eólicos (Carter, 1991, 1988).

Os impactos e as respostas dos sistemas dunares litorais ao cenário de subida relativa do nível médio do mar apresentam grande complexidade, poucas certezas e serão distintos em função das características biofísicas e socioeconómicas locais, como mencionam Andrade *et al* (2006), Davis & FitzGerald (2004), FitzGerald *et al* (2008), IPCC (2007), Nicholls (2002) e Voice *et al* (2006). Porém, é razoável reconhecer que, a longo prazo e a nível global, os sistemas dunares litorais experimentarão um certo nível de degradação, implicando que estes não poderão desempenhar integralmente a sua importante função de protecção natural contra a acção erosiva das ondas e as inundações costeiras, nem a sua função de recarga e protecção de sistemas aquíferos (de facto, prevê-se a contaminação dos aquíferos com água salgada), ou poderão perder, parcial ou totalmente, os recursos naturais, beleza cénica e biodiversidade que os caracterizam e pelos quais são tão apreciados pela sociedade humana.

O Quadro 1.1. clarifica, de um modo despretensioso, os potenciais impactos decorrentes da subida relativa do nível médio do mar, do aumento da frequência e magnitude de fenómenos climáticos extremos (tempestades e *storm surge*) e do aumento da precipitação (a latitudes temperadas) nos sistemas dunares litorais, em consequência das alterações climáticas mais relevantes no contexto do litoral.

Quadro 1.1. Potenciais impactos nos sistemas praia-duna decorrentes das alterações climáticas mais relevantes no contexto do litoral.

POTENCIAS IMPACTOS	SUBIDA RELATIVA DO NÍVEL MÉDIO DO MAR	FENÓMENOS CLIMÁTICOS EXTREMOS		AUMENTO DA PRECIPITAÇÃO
		TEMPESTADES	STORM SURGE	
Erosão marinha	x	x	x	
Recuo da linha de costa	x	x	x	
Instabilização da duna frontal	x	x	x	x
Migração/perda de sistemas praia-duna	x	x	x	
Modificações/perda da função de protecção	x	x	x	
Inundações costeiras	x	x	x	x
Salinização de aquíferos	x			
Modificações/perda de biodiversidade	x	x	x	x
Destruição de infraestruturas litorais	x	x	x	
Modificações no transporte eólico de sedimentos	x	x		x
Modificações no transporte fluvial de sedimentos	x			x

(Adaptado de Pye *et al*, 2007b e Voice *et al*, 2006)

Para agravar a situação de erosão e de degradação, efectiva e potencial, dos sistemas dunares litorais, acresce a acção antrópica directa e indirecta.

A acção antrópica directa prende-se sobretudo com a intensa ocupação dos sistemas dunares litorais, nem sempre harmoniosa e em conformidade com a sua dinâmica natural, o que tem originado fortes modificações geomorfológicas e ecológicas e tem, frequentemente, culminado com a degradação e destruição destes sistemas. Esta realidade foi particularmente sentida no último século quando se verificou, um pouco por todo o planeta, uma forte procura dos espaços dunares para desenvolver actividades económicas relacionadas com o turismo e lazer, como evidenciam diversos autores (Carter, 1988; Martínez *et al*, 2004a; Nordstrom, 2000; Paskoff, 1998, Pye *et al*, 2007a; Ramos-Pereira, 2008b; Schwartz, 2005; van der Meulen *et al*, 1991; Veloso-Gomes, 2002; Viles & Spencer, 1995).

O intenso desenvolvimento urbano e turístico desencadeado na década de 1960 é responsável, segundo van der Meulen & Salman (1996), pela degradação ou mesmo destruição de cerca de 75% dos sistemas dunares litorais de países mediterrânicos como a França, Espanha, Portugal, Grécia, Israel e Tunísia. Com efeito, Heslenfeld *et al* (2004), Schwartz (2005) e van der Meulen & Udo de Haes (1996) referem que as actividades económicas relacionadas com o turismo e lazer impõem a construção de uma série de infraestruturas complementares, exemplo de vias de acesso, parques de estacionamento, hotéis, campos de jogos, marinas e apoios de praia, que ocuparam e reduziram a área dos sistemas dunares e aumentaram a pressão antrópica, ao elevarem a sua atractividade enquanto espaços de lazer.

A acção antrópica indirecta prende-se, sobretudo, com a implementação de estruturas de engenharia/defesa costeira, resultantes do desenvolvimento de estratégias e medidas de ordenamento e gestão litoral compelidas pela necessidade de protecção de populações, bens e infraestruturas em espaço dunar e pela consciencialização dos problemas que afectam as praias e os sistemas dunares litorais, nomeadamente a erosão marinha e a degradação. No entanto, estas estruturas de engenharia/defesa costeira ao estabilizar um espaço naturalmente dinâmico e provido de mobilidade interromperam a dinâmica natural dos sistemas e, ao invés de travar ou minimizar os efeitos da erosão e da degradação, incrementaram-na ou transferiram-na para sotamar, como reconhecem Carter (1988), Davis & FitzGerald (2004), Dias (2005, 1990), Freestone & Nordstrom (2001), Pye *et al* (2007a), Ramos-Pereira (2008a, 2004 2001), Schwartz (2005), Veloso-Gomes (2007, 2002) e Viles & Spencer (1995).

Refira-se, a título exemplificativo, o caso do porto de Aveiro onde a implementação de esporões (estruturas “pesadas” de engenharia/defesa costeira), nos anos de 1949-1950, intensificou, a sotamar destas estruturas, a taxa média de erosão litoral para valores de cerca de 8 m/ano devido

à diminuição do transporte de sedimentos induzido pela interrupção da deriva litoral (Oliveira *et al*, 1982 in Dias, 1990).

Sobre a implementação de estruturas de engenharia/defesa costeira, Veloso-Gomes (2007) refere que estas *transferem ou antecipam os problemas para sotamar, exigem manutenção periódica que não é efectuada por razões financeiras, constituem intrusões paisagísticas e podem transmitir uma falsa sensação de estabilidade a longo prazo que encoraja a ocupação em zonas de risco* (Figura 1.3.).

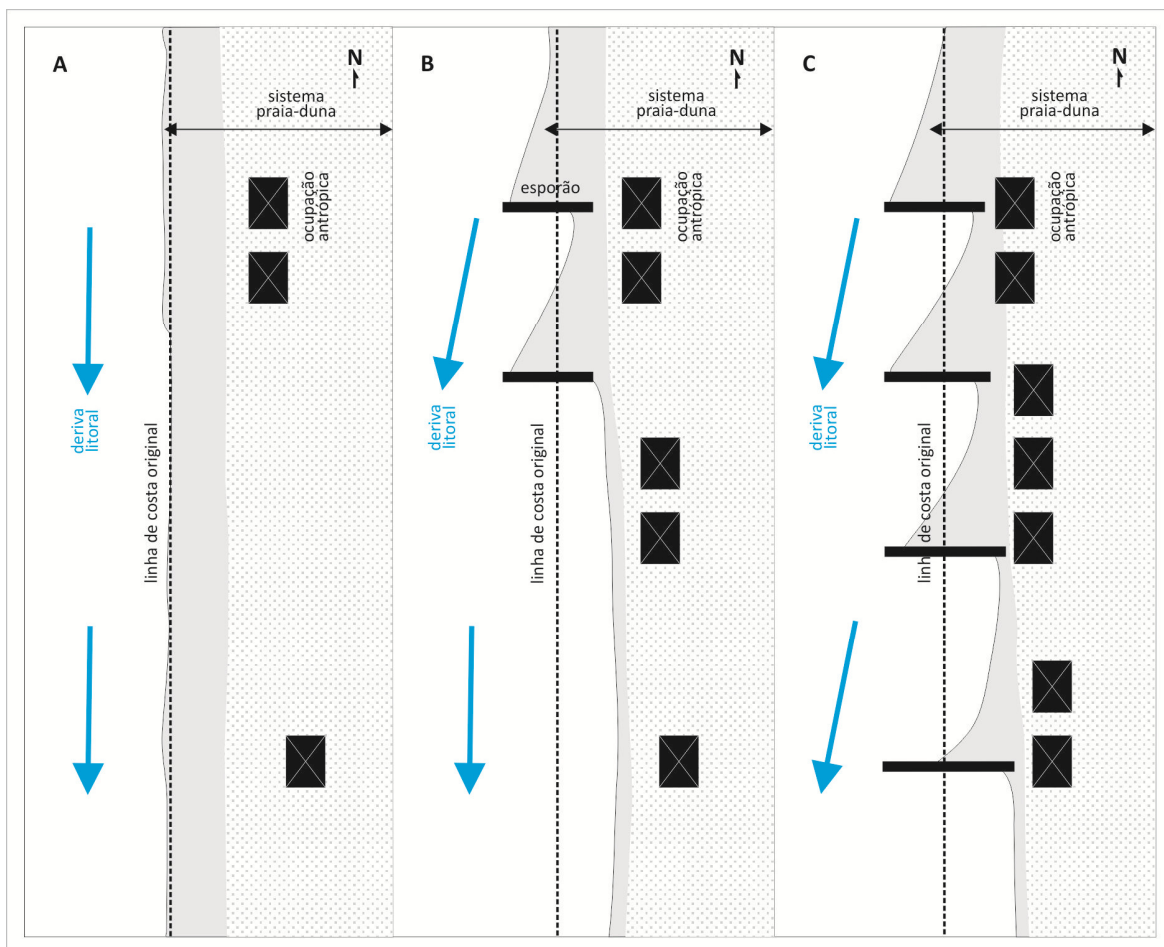


Figura 1.3. Evolução da linha de costa após a implantação de esporões (Adaptado de Dias, 2005).

Adicionalmente, a construção de barragens em várias bacias hidrográficas para regularização dos caudais e aproveitamento hidroelétrico e hidroagrícola, a extracção de inertes em cursos de água, estuários, sistemas praia-duna e as dragagens e obras portuárias, inibiram o transporte de sedimentos ao litoral e têm vindo a contribuir para o agravamento dos problemas de erosão marinha, como salientam Bird (2008), Carter (1988), Dias (2005, 1990), Ferreira *et al* (2008) e Veloso-Gomes & Taveira-Pinto (2003).

Sestini (1992 *in* Bird, 2008) refere que a construção da Barragem do Assuão (Egipto), no início do século XX, induziu forte erosão costeira no delta do rio Nilo originando, em alguns locais, o recuo da linha de costa na ordem de 120 m/ano. Mas existem outros exemplos por todo o planeta.

No caso português, Dias (2005, 1990) afirma que as barragens são responsáveis pela retenção de mais de 80% do volume de sedimentos outrora transportados pelos cursos de água antes da sua construção, e que os maiores problemas de erosão costeira têm origem antrópica uma vez que *o conjunto acumulado das acções antrópicas justificaria, só por si, um forte comportamento transgressivo do litoral*. Andrade & Freitas (2001 *in* Magalhães *et al*, 2004), por sua vez, estimam que em alguns locais do território nacional, a taxa média de erosão litoral atinge valores entre 8-10 m/ano, e reforçam a ideia que este comportamento erosivo advém do *deficit* de sedimentos causado pela acção antrópica indirecta.

Esta é também a convicção de vários autores, tais como Bird (2008), Carter (1988), Davis & FitzGerald (2004), Ferreira *et al* (2008), Pye *et al* (2007a), Ramos-Pereira (2004), Schwartz (2005), Veloso-Gomes & Taveira-Pinto (2003) e Viles & Spencer (1995), que apontam a ocupação antrópica e a construção de estruturas “pesadas” de engenharia/defesa costeira como principais agentes de erosão e de degradação dos litorais arenosos a nível global.

Saliente-se que os sistemas dunares litorais foram (e são) alvo de forte ocupação e uso antrópico que, associada a um certo desconhecimento das consequências na sua dinâmica natural e nos ecossistemas naturais que estes acolhem, foram responsáveis por muitos problemas de degradação que ainda hoje persistem e que têm conduzido a graves problemas de erosão costeira. Mais, com a subida relativa do nível médio do mar, é previsível que a degradação e erosão dos sistemas litorais sejam intensificadas.

Das considerações anteriores fica clarificada a importância dos sistemas dunares litorais enquanto espaços que:

- (i) desempenham a importante função de protecção natural das terras emersas à acção erosiva das ondas;
- (ii) detêm elevado interesse na conservação da natureza e biodiversidade;
- (iii) providenciam um vasto conjunto de recursos naturais de grande importância para a sociedade humana;
- (iv) constituem uma relevante plataforma de desenvolvimento económico.

Porém, estes são espaços particulares por:

- (i) possuírem uma permanente dinâmica própria;
- (ii) estarem sujeitos a diferentes e recorrentes perigosidades naturais;

(iii) estarem submetidos a intensa e crescente pressão antrópica.

Importa, por todos estes motivos, proceder à gestão racional e sustentável do litoral e dos sistemas dunares litorais, de modo a garantir a sua futura preservação e manutenção, precavendo o risco de estes ficarem irremediavelmente modificados ou destruídos.

1.4. A IMPORTÂNCIA DA GESTÃO INTEGRADA DA ZONA COSTEIRA (GIZC)

Nas últimas décadas, a crescente preocupação com o agravamento dos problemas que afectam o litoral, em geral, e os sistemas dunares litorais, em particular, mereceu interesse por parte dos Governos nacionais e da comunidade científica com o objectivo de desenvolver e aprofundar conhecimento que contribua para a sua resolução.

De acordo com Heslenfeld *et al* (2004) e MAOTDR (2007), a nível europeu, esta preocupação reflecte-se nas políticas e iniciativas comunitárias que têm vindo a ser constituídas.

Em 1981, em Creta, a reunião plenária da Conferência das Regiões Periféricas Marítimas da Comunidade Económica Europeia (CEE) aprovou a designada Carta Europeia do Litoral que estabelece *os princípios destinados a salvaguardar e a valorizar o litoral* (MAOTDR, 2007).

Aquando da Conferência das Nações Unidas sobre Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, mais conhecida pela “Cimeira da Terra”, realizada em 1992 no Rio de Janeiro, foi aprovada a Agenda 21 que dedica um capítulo inteiro ao tema da protecção dos oceanos, mares e litorais e seu uso e desenvolvimento sustentável (UNSD, 1993 – Agenda 21, Secção II, Capítulo 17). Este documento incita os países litorais, incluindo os países da União Europeia (UE), a promover a gestão integrada e o desenvolvimento sustentável das zonas costeiras² e marinhas (Goudie, 2003; MAOTDR, 2007; Schwartz, 2005; UNSD, 1993).

É neste âmbito que surgem as bases para estabelecer o conceito de Gestão da Zona Costeira (GZC) ou Gestão Integrada da Zona Costeira (GIZC). Este conceito foi posteriormente desenvolvido ao abrigo do *Demonstration Programme on Integrated Coastal Zone Management* (1996-1999), iniciativa da Comissão Europeia, e institucionalizado pela Recomendação nº 2002/413/CE de 30 de Maio (MAOTDR, 2007; Ramos-Pereira, 2008a; Veloso-Gomes, 2007).

A GIZC é um processo *multidisciplinar que deve envolver os vários intervenientes no desenvolvimento, ordenamento e uso do litoral, cujo objectivo é a criação de programas e planos que permitam a protecção e o desenvolvimento sustentável dos recursos litorais e do ambiente (...)*

² Refere-se à porção de território influenciada directa e indirectamente em termos biofísicos pelo oceano (ondas, marés, ventos, biota ou salinidade) e que pode ter para o lado de terra largura tipicamente de ordem quilométrica e se estende, do lado do mar, até ao limite da plataforma continental (MAOTDR, 2007).

visa assegurar um equilíbrio entre os objectivos ambientais, económicos, sociais, culturais e recreativos, dentro dos limites estabelecidos pela dinâmica natural (Ramos-Pereira, 2008a).

A implementação deste tipo de estratégia comporta, segundo a supracitada autora, quatro fases:

- (i) caracterização e avaliação da situação de referência, *que pressupõe a existência de uma base de dados em permanente actualização, com características gerais da dinâmica litoral do troço considerado e também dos sistemas litorais em questão, com indicação do uso do território litoral e do estado de vulnerabilidade daqueles sistemas face ao uso existente ou previsto;*
- (ii) desenvolvimento de programas ou planos com base no diagnóstico feito na primeira fase;
- (iii) implementação das políticas desenvolvidas;
- (iv) monitorização e avaliação das medidas implementadas.

Esta abordagem possibilita a concepção do litoral como espaço de múltiplas funções e interesses que pode (e deve) ter ocupação e uso antrópico compatível com o seu estatuto de preservação e conservação.

Em Portugal, as praias e os sistemas dunares litorais são propriedade do Estado e a sua protecção é assegurada por forte legislação.

A Lei do Domínio Público Marítimo (instituída pelo Decreto-Lei nº 468/71 de 5 de Novembro) assegura a constituição de uma faixa de protecção litoral sujeita a jurisdição das autoridades portuárias ou marítimas (MAOTDR, 2007). Esta medida foi inovadora e adoptada em outros países europeus. Posteriormente, o Decreto-Lei nº 302/90 de 26 de Setembro estabelece os princípios de ocupação, uso e transformação da faixa costeira³ (Decreto-Lei nº 302/90, artigo 1º, alínea 1).

Com o intuito de prosseguir o correcto ordenamento e gestão do litoral foi aprovado o Decreto-Lei nº 309/93 de 2 de Setembro, que institui os Planos de Ordenamento da Orla Costeira (POOC) (MAOTDR, 2007; Ramos-Pereira, 2008a, 2004). Os POOC visam definir *o ordenamento dos diferentes usos e actividades específicas da orla costeira* (Decreto-Lei nº 309/93, artigo 2º, alínea a), numa faixa marítima de protecção com limite máximo na batimétrica dos 30 m e uma zona terrestre de protecção com uma largura máxima de 500 m a partir da linha limite das margens do mar (Decreto-Lei nº 309/93, artigo 3º, alínea 2). Os POOC devem atender (i) *à protecção de integridade biofísica do espaço*; (ii) *à valorização dos recursos existentes na orla costeira*; (iii) *à conservação dos valores ambientais e paisagísticos* (Decreto-Lei nº 309/93, artigo 2º, alínea a, b e c). Ramos-Pereira (2008a, 2004) salienta a ambiguidade deste documento, nomeadamente no que se refere aos sistemas dunares litorais, que muitas vezes extravasam o limite dos 500 m, definido

³ Refere-se à *banda ao longo da costa marítima, cuja largura é limitada pela linha de máxima praia-mar de águas vivas equinociais e pela linha situada a 2 km daquela para o interior* (Decreto-Lei nº 302/90, artigo 1º, alínea 2).

naqueles instrumentos como zona terrestre de protecção, revelando-se por isso uma medida completamente ineficaz.

Seguiram-se outros documentos legislativos que disciplinaram a ocupação do litoral e que culminaram com a elaboração da Estratégia Nacional para a Gestão Integrada da Zona Costeira (ENGIZC) (instituída pela Resolução do Conselho de Ministros nº 82/2009 de 8 de Setembro). *A ENGIZC tem como visão uma zona costeira harmoniosamente desenvolvida e sustentável, baseada numa abordagem sistémica e de valorização dos seus recursos e valores identitários, suportada no conhecimento e gerida segundo um modelo que articula instituições, políticas e instrumentos e assegura a participação dos diferentes actores intervenientes* (Resolução do Conselho de Ministros nº 82/2009).

Adicionalmente, a inclusão de praias e sistemas dunas litorais, entre outros ecossistemas, no domínio da Reserva Ecológica Natural (REN) (instituída pelo Decreto-Lei nº 321/83 de 5 de Julho e alterada pelos Decreto-Lei nº 93/90 de 19 de Março e Decreto-Lei nº 166/2008 de 22 de Agosto) e da Rede Natura 2000⁴ (instituída pelas Directiva do Conselho 79/409/CEE de 2 de Abril – Directiva Aves e Directiva do Conselho 92/43/CEE de 21 de Maio – Directiva *Habitats*), e a constituição da Rede Fundamental de Conservação da Natureza (RFCN) (instituída pelo Decreto-Lei nº 142/2008 de 24 de Julho e precedida da Estratégia Nacional de Conservação da Natureza e Biodiversidade (ENCNB) instituída pela Resolução do Conselho de Ministros nº 152/2001 de 11 de Outubro, e da Lei de Bases do Ambiente, instituída pela Lei nº 11/87 de 7 de Abril), possibilitam um enquadramento legislativo favorável à sua protecção, conservação e uso sustentável.

Em Portugal, algumas áreas de dunas têm sido classificadas como Reserva Natural ou integradas em Áreas Protegidas. Refira-se, a título exemplificativo, a constituição da Reserva Natural das Dunas de São Jacinto (instituída pelo Decreto-Lei nº 41/79 de 6 de Março) e da Paisagem Protegida do Litoral de Esposende (instituída pelo Decreto Regulamentar nº 357/87 de 17 de Novembro), com o propósito de criar as condições necessárias à preservação do sistema dunar e à protecção da fauna e flora dunar (ICN, 1998).

Não obstante este enquadramento legislativo favorável, a existência de algumas fragilidades na aplicação destas políticas, principalmente as que se prendem com limitações na articulação institucional dos vários instrumentos de gestão territorial e com a errada concepção do litoral como um espaço imutável, tem contribuído para a implementação de opções desajustadas à dinâmica do litoral e dos seus sistemas dunares (MAOTDR, 2007; Ramos-Pereira, 2008a, 2004).

⁴ Rede fundamental de conservação da natureza elaborada no âmbito das políticas de Conservação da Natureza da União Europeia com o objectivo de assegurar, a longo prazo, a conservação das espécies e dos *habitats* mais ameaçados da Europa (EC).

2. OBJECTIVOS E METODOLOGIA

2.1. OBJECTIVOS

A presente dissertação tem como objectivos (i) realizar uma avaliação da vulnerabilidade biofísica do sistema dunar litoral de Peniche-Baleal; (ii) elaborar uma proposta para o seu ordenamento e gestão.

O conceito de vulnerabilidade foi oficialmente estabelecido em 1979, no âmbito de uma convenção internacional organizada pela *United Nations Disaster Relief Co-ordinator* (UNDRO), e definido por Varnes (1984) como o *grau de perda de um elemento ou conjunto de elementos em risco, na sequência da ocorrência de um fenómeno natural de determinada magnitude*. Deste então, este conceito tem sido aplicado nos mais diversos domínios da ciência. Não obstante a validade desta definição, nesta dissertação privilegia-se o conceito de **vulnerabilidade biofísica**, definido por Laranjeira (1997) como o **grau de susceptibilidade dos sistemas biofísicos para experimentarem uma transformação das suas características que os conduza a uma degradação irreversível, se ultrapassada a sua capacidade de resiliência**. A capacidade de resiliência, *i.e.*, *capacidade de um sistema para, em situações de tensão induzida por factores internos ou externos (naturais ou antrópicos), despoletar a acção dos seus mecanismos homeostáticos de modo a se autoregular e ser conduzido a novo estágio de equilíbrio* (Laranjeira, 1997), enfatiza a necessidade de avaliar as consequências que a pressão antrópica exerce nos sistemas biofísicos e na sua dinâmica, como salientam Duarte *et al* (1999) e Ramos-Pereira *et al* (2000).

Nos sistemas dunares litorais, a manutenção da capacidade de resiliência é de extrema importância uma vez que, apesar de serem intrinsecamente dinâmicos sob a acção do mar e do vento (principais agentes geomorfológicos da sua génese e evolução), são pouco resilientes à acção antrópica (Laranjeira, 1997).

Nesta perspectiva, assume-se que a degradação generalizada de um sistema biofísico é indicativa da sua incapacidade de se auto-regenerar naturalmente, isto é, a degradação ocorre porque o sistema ultrapassou o seu limiar de resiliência, *i.e.*, limiar a partir do qual os mecanismos homeostáticos do sistema biofísico entram em ruptura e deixam de o poder conduzir a um novo estágio de equilíbrio dinâmico, conduzindo a uma degradação ambiental⁵. Na opinião de diversos autores, tais como Duarte *et al* (1999), Ferreira & Laranjeira (2000),

⁵ Informação oral da Professora Doutora Ana Ramos-Pereira na Cadeira de Dinâmica de Sistemas Litorais (ano lectivo de 2004-2005).

Ramos-Pereira & Laranjeira (2002) e Ramos-Pereira *et al* (2000), a persistência desse estado de degradação pode mesmo culminar com a destruição do sistema.

No âmbito do ordenamento e gestão de sistemas litorais, particularmente de sistemas dunares litorais, o conhecimento destes conceitos é de elevado interesse pois permite estabelecer a intensidade da pressão antrópica (ocupação e uso) exercida no sistema e reconhecer os ajustamentos necessários para minimizar ou prevenir essa pressão.

O sistema dunar litoral em estudo, o sistema dunar de Peniche-Baleal, localiza-se na costa ocidental portuguesa e insere-se na Região Oeste do território nacional, no concelho de Peniche. Este concelho detém, desde tempos remotos, forte ligação ao mar e tradição nas actividades piscatórias, turísticas e desportivas, principalmente as ligadas ao *surf*. Com efeito, Peniche, distando apenas algumas dezenas de quilómetros da cidade de Lisboa, exerce grande atractividade sobre visitantes, turistas e desportistas, principalmente durante os meses de Verão, devido (i) às óptimas condições de acessibilidade (proximidade da Estrada Municipal nº 578, da Estrada Nacional nº 114 e IP6); (ii) à qualidade das suas praias, algumas detentoras do galardão Bandeira Azul nos últimos anos; (iii) oferta diversificada de empreendimentos turísticos; (iv) afirmação do concelho nas práticas desportivas ligadas ao *surf* (*surf*, *windsurf*, *bodyboard*, *kitesurf*).

O sistema dunar evidencia actualmente indícios de erosão marinha e degradação antrópica denunciados pela presença de micro-arribas de erosão, caminhos (trilhos) não ordenados, brechas e *blowouts* na duna frontal. Consciente destes problemas, e da importância do sistema para a economia local, a Câmara Municipal de Peniche tem vindo, nos últimos anos, a implementar algumas medidas de ordenamento e gestão para travar ou mitigar a sua erosão e degradação.

Afirma-se de elevado interesse realizar a avaliação da vulnerabilidade biofísica do sistema dunar de modo a identificar os principais factores que contribuem para a sua presente vulnerabilidade.

As etapas que permitiram a prossecução de tal propósito foram as seguintes:

- (i) análise da dinâmica natural do sistema, caracterizando, ainda que sucintamente, o comportamento dos principais agentes geomorfológicos e dos seus factores condicionantes, contribuindo para o seu melhor conhecimento;
- (ii) avaliação do efeito da acção antrópica, identificando as várias agressões a que o sistema dunar é submetido e as principais intervenções de ordenamento e gestão implementadas;
- (iii) aplicação de duas *checklists*, *checklist* 1 – lista de controlo de avaliação de vulnerabilidade dunar e *checklist* 2 – lista de controlo de resiliência dunar a seis sectores dunares, reconhecendo

os principais problemas que causam erosão, degradação ou destruição, induzidos por factores naturais ou antrópicos;

(iv) diferenciação espacial da vulnerabilidade biofísica, reconhecendo a diversidade do sistema dunar;

(v) caracterização da situação de referência, datada no tempo.

Sugere-se uma proposta de ordenamento e gestão do sistema dunar considerando os principais problemas de vulnerabilidade identificados pelas duas *checklists*. A proposta elaborada deverá permitir futuramente:

(i) minimizar ou mitigar os principais problemas através da execução de medidas de protecção “ligeira”, que poderão ser implementadas a custos relativamente moderados e com mínima perturbação ambiental;

(ii) monitorizar a evolução do sistema comparando-a com a situação de referência;

(iii) avaliar o sucesso ou insucesso da proposta de gestão, procedendo aos necessários ajustamentos.

2.2. DOCUMENTAÇÃO UTILIZADA, MÉTODOS E TÉCNICAS

As bases do procedimento metodológico consistiram na consulta de documentação cartográfica e estatística e na realização de levantamentos de campo. A partir destas, foram realizadas todas as demais etapas que conduziram à prossecução dos objectivos da dissertação.

O modelo conceptual, que seguidamente se esclarece, ilustra a abordagem utilizada (Figura 2.1.).

2.2.1. DOCUMENTAÇÃO CARTOGRÁFICA, ESTATÍSTICA E SOFTWARE

A documentação cartográfica utilizada incidiu sobre:

(i) a Carta Militar escala 1:25 000, folha nº 337 Peniche, em formato analógico, das várias edições disponíveis (1938, 1942, 1965 e 2004), do Instituto Geográfico do Exército (IGeoE);

(ii) a Altimetria correspondente à Carta Militar escala 1:25 000, folhas nº 325b e nº 337, em formato vectorial, do IGeoE;

(iii) os Ortofotomapas que compõem a área de estudo, escala 1:10 000, com *pixel* 0,5 m, em formato *raster*, do IGeoE (2004 e 2005);

(iv) a imagem de satélite da Península Ibérica, crédito de Jacques Descloitres, MODIS *Land Rapid Response Team*, NASA/GSFC;

(v) a Carta Geológica escala 1:50 000, folha nº 26C Peniche, em formato analógico, da Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos (1960);

(vi) a Carta Batimétrica do Canhão da Nazaré escala 1:150 000, em formato analógico, do Instituto Hidrográfico (1988).

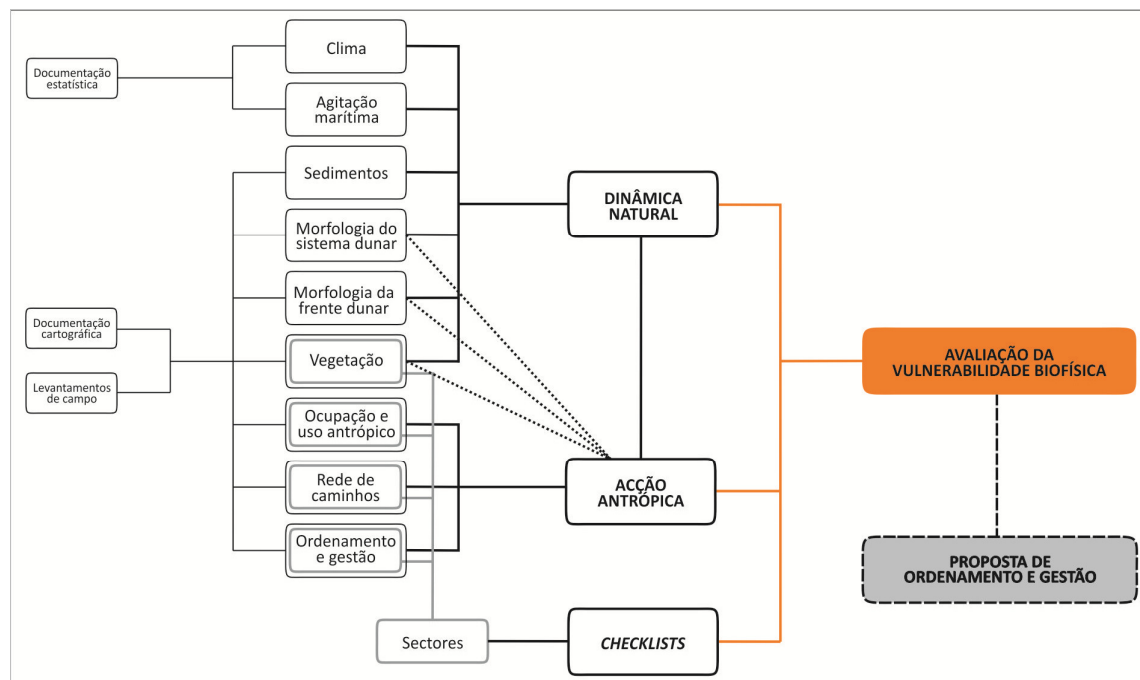


Figura 2.1. Modelo conceptual ilustrativo da abordagem metodológica.

A Carta Batimétrica do Canhão da Nazaré foi incorporada num Sistema de Informação Geográfica (SIG) utilizando o *software* ArcGIS 9 (ArcMap versão 9.2), onde foi georreferenciada para o *datum* Lisboa (Lisboa Hayford Gauss IGeoE). Esta operação permitiu proceder à vectorização das batimétricas. Posteriormente, a altimetria e as batimétricas vectorizadas foram projectadas para as coordenadas Lisboa Hayford Gauss IGeoE. Com base nestas e num polígono correspondente à região de Peniche e ilhas Berlengas, foram gerados Modelos Digitais de Terreno (MDT) para ilustrar a evolução da linha de costa desde o Último Máximo Glaciar.

A referida documentação cartográfica foi fundamental no apoio aos levantamentos de campo e à elaboração da cartografia apresentada nesta dissertação.

A documentação estatística consultada incidiu (i) nas Normais Climatológicas da Região de “Ribatejo e Oeste”, 1951-1980, do Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (INMG, 1991); (ii) nos dados das bóias ondógrafo de Leixões e Sines, período de 1999-2009, disponibilizadas no *site* do Instituto Hidrográfico (IH); (iii) nos dados da estação maregráfica de Peniche, referentes ao ano de 2010, disponibilizadas no *site* do Instituto Hidrográfico (IH); (iv) nas estatísticas territoriais do concelho de Peniche referentes ao ano de 2009, disponibilizadas no *site* do Instituto Nacional de Estatística (INE).

A primeira auxiliou na caracterização das condições climáticas representativas da área em estudo. Os dados referem-se à estação meteorológica de Cabo Carvoeiro, localizada no extremo ocidental do promontório de Peniche (coordenadas geográficas 39° 21' N, 09° 24' W, altitude 32 m), nas proximidades do sistema dunar de Peniche-Baleal. Avaliaram-se os parâmetros de velocidade média, direcção e frequência do vento (V , em km/h) anual e mensal, precipitação (P , em mm) anual e mensal, temperatura média do ar (T , em °C) anual e mensal, temperatura média máxima do ar (T , em °C) anual e mensal e humidade atmosférica (H , em %) média anual e mensal.

De modo a facilitar a análise e compreensão da informação, os dados do vento foram convertidos em gráficos rosa-dos-ventos, com o *software* WRPLOT View version 5.9, e os dados da temperatura e precipitação foram convertidos num gráfico termopluiométrico.

A segunda documentação permitiu caracterizar, sucintamente, as características regionais do clima de agitação marítima no litoral ocidental português e a altura das marés na região de Peniche.

Devido à impossibilidade de adquirir dados que reflectissem com maior rigor as condições locais do troço litoral considerado, utilizaram-se os dados das bóias ondógrafo de Leixões (coordenadas geográficas 41°19'00"N, 08°59'00"W, profundidade 83 m) e Sines (37°55'16"N, 08°55'44"W, profundidade 97 m). Com efeito, a rede nacional de monitorização para Portugal Continental detém apenas três bóias ondógrafo com uma série de observações superiores a uma década: Leixões e Sines no litoral ocidental, Faro no litoral meridional. Recentemente, foi instalado na área de Nazaré um sistema integrado de monitorização que utiliza diversos sensores e instrumentos, entre eles duas bóias ondógrafo (uma oceânica e outra costeira) que, futuramente, providenciará dados essenciais sobre as condições locais da dinâmica marinha.

Os dados das bóias ondógrafo avaliam os parâmetros de altura significativa (H_s) e altura máxima (H_{max}) das ondas, para uma série de 10 anos que compreende o período entre dia 1 de Setembro de 1999 e 31 de Dezembro de 2009, para ambas as estações. Ressalve-se a existência de pequenas lacunas de informação nas séries que deverão corresponder a períodos de inactividade das bóias ondógrafo.

Os dados da estação maregráfica de Peniche, localizada no molho Leste do porto da referida localidade (coordenadas geográficas 39°20'99"N, 09°22'48"W), mencionam a hora e altura das marés que ocorreram no ano de 2010.

As estatísticas territoriais estimam a população residente no concelho de Peniche e avaliam os indicadores turísticos de capacidade de alojamento⁶ e número de dormidas⁷ por estabelecimento hoteleiro⁸, com referência ao ano de 2009.

2.2.2. OS LEVANTAMENTOS DE CAMPO

Os levantamentos de campo, realizados na Primavera de 2008 (dias 19 de Março, 27 de Abril, 2 de Maio e 1 de Junho), revelaram-se fundamentais para permitir:

- (i) caracterizar a morfologia do sistema dunar através do reconhecimento visual e da realização de seis perfis topográficos representativos;
- (ii) caracterizar a morfologia da frente dunar, identificando as estruturas de degradação (brechas e *blowouts*) que a afectam;
- (iii) reconhecer a diversidade da vegetação dunar e as principais manchas de vegetação;
- (iv) identificar os tipos morfo-ecológicos de duna através do reconhecimento visual e da realização de seis perfis geo-ecológicos representativos;
- (v) caracterizar os sedimentos presentes na duna frontal através da recolha de amostras;
- (vi) identificar a ocupação e uso antrópico do sistema dunar;
- (vii) identificar e delimitar a rede de caminhos não ordenados existente;
- (viii) reconhecer as principais intervenções de ordenamento e gestão do sistema dunar implementadas;
- (ix) aplicar/preencher duas *checklists*, *checklist* 1 – lista de controlo de vulnerabilidade dunar e *checklist* 2 – lista de controlo de resiliência dunar.

2.2.2.1. OS PERFIS TOPOGRÁFICOS E GEO-ECOLÓGICOS

Os perfis topográficos, num total de seis (P1, P2, P3, P4, P5 e P6), foram realizados na Primavera de 2008 (dia 2 de Maio), transversalmente ao sistema dunar. Iniciaram-se a sotavento do sistema dunar, junto à Estrada Municipal Nº 578, e finalizaram-se na face da praia.

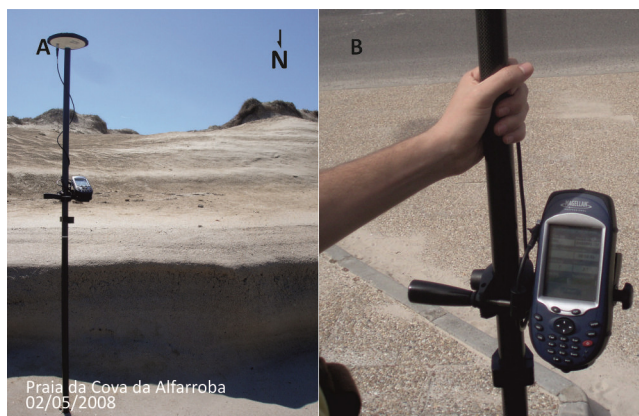
Para a sua realização foram utilizadas duas unidades GPS Magellan® Professional ProMarkTM3, com correcção diferencial em tempo real ou pós-processamento, vulgarmente denominadas por dGPS (*differential Global Positioning System*), propriedade do Grupo de Investigação de Sistemas

⁶ Refere-se ao número máximo de indivíduos que os estabelecimentos podem alojar num determinado momento ou período, sendo este determinado através do número de camas existentes (INE).

⁷ Refere-se à permanência de um indivíduo num estabelecimento que fornece alojamento, por um período compreendido entre as 12 horas de um dia e as 12 horas do dia seguinte (INE).

⁸ Refere-se ao estabelecimento cuja actividade principal consiste na prestação de serviços de alojamento e de outros serviços acessórios ou de apoio, com ou sem fornecimento de refeições, mediante pagamento. Inclui hotéis, pensões, pousadas, estalagens, motéis, hotéis-apartamentos, aldeamentos turísticos e apartamentos turísticos (INE).

Litorais e Fluviais: Dinâmica, Mudanças Ambientais e Ordenamento do Território (SLIF), do CEG/IGOT-UL (Foto 2.1.).



Fotos 2.1. Unidade dGPS com bastão vertical e antena receptora (A); Pormenor da unidade dGPS (B).

Estes instrumentos permitiram recolher sistematicamente coordenadas x , y , z em modo cinemático *stop & go*, em que a aquisição de cada ponto teve a duração de 15 segundos. Apresentam uma fiabilidade no posicionamento horizontal de $0,012\text{ m} \pm 2,5\text{ ppm}$ e no posicionamento vertical de $0,015\text{ m} \pm 2,5\text{ ppm}$, em modo cinemático, segundo informação do fabricante.

De acordo com Trindade *et al* (2007), a utilização de instrumentos de elevada precisão, como é o caso do dGPS e da Estação Total (teodolito), é bastante habitual na monitorização de sistemas litorais arenosos. Este autor efectuou, em Janeiro de 2006, a monitorização de um sistema de praia (praia da Foz do Lizandro, Ericeira) com o objectivo de comparar a precisão entre um instrumento de dGPS (com características semelhantes ao utilizado nesta dissertação) e uma Estação Total, de modo a testar sua adequabilidade à monitorização destes sistemas tão dinâmicos. Os resultados obtidos apontam para uma diferença média entre os dois instrumentos de $0,325\text{ m}$ no posicionamento horizontal e $0,257\text{ m}$ no posicionamento vertical, apontando o dGPS como um instrumento capaz de detectar modificações geomorfológicas no sistema superiores a 40 cm .

O dGPS utilizado neste trabalho é mesmo que o utilizado por Trindade *et al* (2007).

O pós-processamento da informação registada pelo dGPS requer a obtenção dos dados para a correcção diferencial. Com este propósito utilizou-se uma base virtual de referência disponibilizada pelo serviço Rede SERVIR (Sistemas de Estações de Referência de GPS Virtuais) no *site* do IGeoE, cujas coordenadas *World Geodetic System 84* (WGS 84) e tempo de aquisição são apresentadas no Quadro 2.1.

Quadro 2.1. Informação da base virtual de referência utilizada para o pós-processamento dos dados dGPS.

BASE VIRTUAL DE REFERÊNCIA	
Coordenadas WGS 84	266509,47 N
	94682,76 W
	altitude 1,18 m
Tempo de aquisição	09h – 17h (480 minutos)

(Fonte: IGeoE)

Através da Rede SERVIR foram adquiridos os ficheiros RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*) que possibilitaram a correcção das coordenadas WGS 84 para coordenadas rectangulares referentes ao *datum* de Lisboa (Lisboa Hayford Gauss IGeoE), utilizando o *software* GNSS Solutions 3.00.07. Após a correcção, os ficheiros foram incorporados num SIG (ArcGIS 9), onde foi efectuada a projecção dos perfis.

Os perfis geo-ecológicos, num total de seis (P1, P2, P3, P4, P5 e P6), coincidiram com a localização dos perfis topográficos, ao longo dos quais, paralelamente, até uma distância de cerca de 2 m, se identificaram as espécies de vegetação dunar presentes. Na impossibilidade de identificar *in situ* algumas das espécies, foram recolhidos exemplares de folhas e flores para posterior identificação.

Saliente-se que os perfis geo-ecológicos não consideraram qualquer método fitossociológico ou escala de abundância-dominância. A informação recolhida pretendeu apenas inventariar as espécies de vegetação dunar, para cada um dos perfis geo-ecológicos, de acordo com a sua presença nos diferentes tipos morfo-ecológicos de duna (duna branca, cinzenta e verde).

2.2.2.2. A RECOLHA DE AMOSTRAS DE SEDIMENTOS PRESENTES NA FRENTE DUNAR

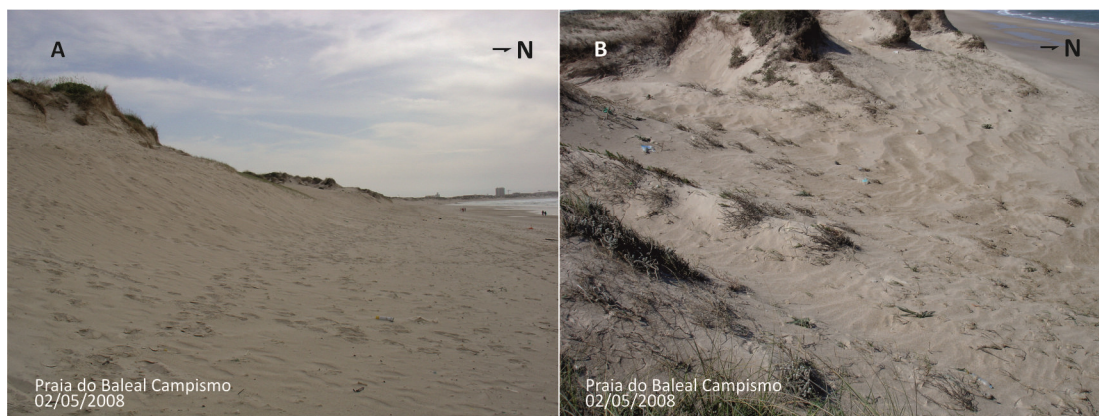
Recolheram-se um total de 10 amostras de sedimentos retiradas da camada superficial arenosa, película de cerca de 1 cm de espessura que regista as condições actuais da sedimentação, junto à base da frente dunar do sistema (Fotos 2.2. A).

A localização da recolha de seis dessas amostras (A1 FD, A2 FD, A3 FD, A4 FD, A5 FD e A6 FD) coincidiu com a dos perfis topográficos e geo-ecológicos. Adicionalmente foram recolhidas mais quatro amostras. Duas nos extremos ocidental e oriental do sistema dunar (amostras AW FD e AE FD, respectivamente) e duas na base da frente dunar, na proximidade de P4 e P6, em locais onde existiam indícios recentes de ocorrência de galgamentos oceânicos, designando-as por A4 OW e A6 OW (Fotos 2.2. B).

A recolha de amostras de sedimentos presentes na duna frontal foi indispensável para:

(i) caracterizar os sedimentos que constituem a duna frontal, obtendo uma referência quanto à sua dimensão;

- (ii) preencher um dos parâmetros da *checklist* 1 – lista de controlo de vulnerabilidade dunar;
- (iii) confirmar, através da assinatura sedimentológica, a ocorrência de galgamentos oceânicos.



Fotos 2.2. Locais de recolha de amostras, exemplo para as amostras A6 FD e A6 OW. Base da frente dunar (A); Duna frontal com indício de galgamento oceânico (B).

2.2.2.3. A REDE DE CAMINHOS NÃO ORDENADOS

Foi identificada, durante a realização dos levantamentos de campo, uma vasta rede de caminhos não ordenados de acesso à praia pelo sistema dunar.

Esta condição foi validada no ortofotomapa (2005), através da delimitação dos principais caminhos não ordenados, em ambiente SIG (ArcGIS 9). O *software* permitiu ainda classificar os caminhos não ordenados em diferentes classes de largura e calcular o comprimento total dos caminhos não ordenados para de cada classe. O valor obtido permitiu, de certo modo, quantificar a magnitude da rede de caminhos não ordenados.

2.2.2.4. AS CHECKLISTS

Foram aplicadas duas *checklists*, *checklist* 1 – lista de controlo de avaliação de vulnerabilidade dunar e *checklist* 2 – lista de controlo de resiliência dunar, na Primavera de 2008 (dia 2 de Maio).

A vulnerabilidade biofísica do sistema dunar foi avaliada pela divisão em seis sectores/unidades (S1, S2, S3, S4, S5 e S6) distintas ao invés de uma única unidade, uma vez que os levantamentos de campo possibilitaram reconhecer uma grande diversidade no que respeita às suas características de vegetação dunar, de ocupação e uso antrópico, de caminhos não ordenados e de intervenções de ordenamento e gestão implementadas (tema a desenvolver no quarto capítulo). Esta abordagem permitiu realizar uma diferenciação espacial da vulnerabilidade biofísica do sistema dunar.

As *checklists* avaliam diversas componentes biofísicas e socioeconómicas que constroem os sistemas dunares e constituem um instrumento de grande utilidade no processo de recolha e sistematização de informação que caracteriza as condições actuais dos sistemas dunares,

permitindo identificar os principais problemas que causam a sua erosão, degradação ou destruição, induzidos por factores naturais ou antrópicos, como mencionam Davies *et al* (1995), Laranjeira (1997), Laranjeira *et al* (1999), Matias *et al* (1998), Ramos-Pereira & Laranjeira (2002), Williams & Davies (2001) e Williams *et al* (2001).

De acordo com Davies *et al* (1995), Ramos-Pereira & Laranjeira (2002), Williams & Davies (2001) e Williams *et al* (2001), as *checklists* foram desenvolvidas com o intuito de:

- (i) avaliar a vulnerabilidade biofísica dos sistemas dunares;
- (ii) identificar os problemas que promovem essa vulnerabilidade, listando-os, classificando-os e avaliando-os através da atribuição de um valor em função de níveis de vulnerabilidade pré-estabelecidos;
- (iii) apoiar a decisão no âmbito do ordenamento e gestão dos sistemas dunares.

Checklist 1 – lista de controlo de vulnerabilidade dunar

A *checklist* 1, denominada lista de controlo de vulnerabilidade dunar, foi inicialmente desenvolvida por Bodéré *et al* (1994, 1991) e Williams *et al* (1993) através da definição de uma metodologia de avaliação de níveis de vulnerabilidade aplicada a sistemas dunares litorais do noroeste europeu, mais especificamente da Bretanha Ocidental (França) e Sul do País de Gales (Reino Unido). Em 1994, foi aplicada por Dias *et al* (1994) a 11 sistemas dunares da costa Sudoeste e Sul de Portugal, com vista a *testar a sua aplicabilidade a outros domínios morfoclimáticos* (Ramos-Pereira & Laranjeira, 2002).

A *checklist* 1 está organizada em cinco secções de vulnerabilidade (secção A – sítio e morfologia; secção B – características da praia; secção C – características superficiais da duna nos primeiros 200 m; secção D – pressão exercida pelos diversos utilizadores; secção E – medidas de protecção recentes) que comportam um número total de 54 parâmetros a avaliar (Anexo I).

A avaliação rigorosa da vulnerabilidade do sistema dunar exigiu proceder a ajustamentos na *checklist* 1 que consistiram na remoção de alguns parâmetros de algumas secções que, devido às características dos sectores dunares individualizados, não se consideraram aplicáveis. Com efeito, Davies *et al* (1995), Dias *et al* (1994), Laranjeira *et al* (1999), Matias *et al* (1998) e Williams & Davies (2001), sugerem este procedimento quando a aplicabilidade de um dos parâmetros é questionável.

O Quadro 2.2. apresenta os parâmetros retirados da *checklist* 1.

Quadro 2.2. Parâmetros removidos da *checklist* 1, aplicabilidade aos sectores individualizados e justificação.

SECÇÃO	PARÂMETRO	APLICABILIDADE						JUSTIFICAÇÃO
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	
C – características superficiais da duna nos primeiros 200 m	2. percentagem de superfície ocupada por <i>blowouts</i>	-	-	-	-	-	N	ausência de <i>blowouts</i> devido à elevada ocupação antrópica da frente dunar.
	8. depósitos recentes de areia com gramíneas	N	N	N	N	N	N	ausência de dunas embrionárias com gramíneas.
	12. antigas extracções de inertes a menos de 200 m da frente do mar	N	N	N	N	N	N	ausência de locais de extracção de inertes. Em conformidade com a legislação que proíbe tais actividades em <i>áreas classificadas, nomeadamente áreas protegidas, sítios da Lista Nacional de Sítios, sítios de interesse comunitário, zonas especiais de conservação e zonas de protecção especial criadas nos termos da legislação em vigor</i> , como consta no Decreto-Lei nº 270/2001 de 6 de Outubro, artigo 2º, alínea b. Ver também o Decreto-Lei nº 90/90 de 16 de Março; Resolução de Conselho de Ministros nº 11/2002 de 17 de Janeiro.
D – pressão exercida pelos diversos utilizadores	4. equitação sobre as dunas	N	N	N	N	N	N	ausência de prática de equitação. Dias <i>et al</i> (1994) questiona a aplicabilidade deste parâmetro no contexto português devido à reduzida prática desta actividade em sistemas dunares.
	7. campismo ordenado	N	N	N	N	N	N	ausência de parques de campismo.
	8. campismo selvagem	N	N	N	N	N	-	ausência de prática de campismo selvagem. Em conformidade com a legislação que proíbe tais actividades <i>fora dos parques de campismo</i> , como consta na Resolução do Conselho de Ministros nº 11/2002 de 17 de Janeiro, artigo 34º.
	12. extracção comercial/ ocasional de inertes	N	N	N	N	N	N	ausência desta actividade. Ver também o Decreto-Lei nº 90/90 de 16 de Março; Decreto-Lei nº 270/2001 de 6 de Outubro; Resolução de Conselho de Ministros nº 11/2002 de 17 de Janeiro.
	13. pastagem	N	N	N	N	N	N	ausência da prática de pastagem. Dias <i>et al</i> (1994) questiona a aplicabilidade deste parâmetro no contexto português devido às especificidades climáticas e geográficas regionais, muito diferentes das dos países onde a <i>checklist</i> foi inicialmente aplicada
	14. população de coelhos	N	N	N	N	N	N	ausência de população de coelhos. Dias <i>et al</i> (1994) questiona a aplicabilidade deste parâmetro no contexto português devido às especificidades climáticas e geográficas regionais, muito diferentes das dos países onde a <i>checklist</i> foi inicialmente aplicada
E – medidas de protecção recentes	4. controlo de equitação	N	N	N	N	N	N	inadequado devido à ausência desta actividade.
	7. armadilhas de areia	N	-	-	N	-	N	ausência de armadilhas de areia.

N=não aplicável

Foi ainda feita uma pequena adaptação dos parâmetros 10. evolução da frente dunar desde 1940 e 11. evolução da vegetação desde 1940, da secção C – características superficiais da duna nos primeiros 200 m, que consistiu na redução da janela temporal de 1940 para 1980, uma vez que apenas foi possível apurar com rigor a execução de medidas específicas de intervenção no sistema dunar, com consequências directas na evolução da frente dunar e da vegetação, desde a década de 1980.

Checklist 2 – lista de controlo de resiliência dunar

A *checklist 2*, denominada lista de controlo de resiliência dunar, surge no seguimento dos resultados obtidos pela aplicação da *checklist 1* a outros países europeus ao abrigo do programa europeu *European Land-Ocean Interaction Studies/Dynamics and Integrated Management Methods for Coastal Dune Ecosystems* (ELOISE/DUNES 1996-1999), *Environment and Climate Research Programme, European Commission DCXII, Marine Science and Technology*, como mencionam Ramos-Pereira & Laranjeira (2002) e Ramos-Pereira *et al* (2000).

Esta experiência permitiu reconhecer a necessidade de proceder a alguns ajustamentos na *checklist* original de modo a adaptar-se à realidade dos sistemas dunares do Sul da Europa. Assim, surge a *checklist 2*, em alternativa à primeira, baseada na capacidade de resiliência dos sistemas dunares litorais.

A *checklist 2* está organizada em sete secções de vulnerabilidade (secção A – ocorrência de formas de erosão; secção B – ausência/presença de dunas recentes; secção C – fixação das areias pela vegetação dunar; secção D – degradação pelo uso; secção E – eficácia/ineficácia do ordenamento e gestão; secção OTA – obstáculos à livre transgressão de areias; secção AT – atractividade turística) que comportam um número total de 42 parâmetros a avaliar (Anexo II).

À semelhança do que sucedeu com a *checklist 1*, foi necessário retirar da *checklist 2* alguns parâmetros de algumas secções que, devido às características dos sectores dunares individualizados, não se consideraram aplicáveis.

O Quadro 2.3. apresenta os parâmetros retirados da *checklist 2*.

2.2.3. O TRATAMENTO LABORATORIAL

As 10 amostras de sedimentos retiradas da frente dunar (AW, A1 FD, A2 FD, A3 FD, A4 FD, A4 OW, A5 FD, A6 FD, A6 OW e AE) foram submetidas a tratamento laboratorial no Laboratório de Geografia Física do CEG/IGOT-UL.

Quadro 2.3. Parâmetros removidos da *checklist* 2, aplicabilidade aos sectores individualizados e justificação.

SECÇÃO	PARÂMETRO	APLICABILIDADE						JUSTIFICAÇÃO
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	
D – degradação pelo uso	4. equitação	N	N	N	N	N	N	ausência de prática de equitação. Dias <i>et al</i> (1994) questiona a aplicabilidade deste parâmetro no contexto português devido à reduzida prática desta actividade em sistemas dunares.
	5. parque de campismo em área de duna	N	N	N	N	N	N	ausência de parques de campismo.
	7. extracção de inertes em área de duna	N	N	N	N	N	N	ausência de locais de extracção de inertes. Em conformidade com a legislação que proíbe tais actividades em <i>áreas classificadas, nomeadamente áreas protegidas, sítios da Lista Nacional de Sítios, sítios de interesse comunitário, zonas especiais de conservação e zonas de protecção especial criadas nos termos da legislação em vigor</i> , como consta no Decreto-Lei nº 270/2001 de 6 de Outubro, artigo 2º, alínea b. Ver também o Decreto-Lei nº 90/90 de 16 de Março; Resolução de Conselho de Ministros nº 11/2002 de 17 de Janeiro.
E – eficácia/ ineficácia do ordenamento e gestão	4. vigilância e controlo de equitação	N	N	N	N	N	N	inadequado devido à ausência desta actividade.
	6. vigilância e controlo de extracção de inertes	N	N	N	N	N	N	inadequado devido à ausência desta actividade.

N=não aplicável

O tratamento laboratorial consistiu na (i) separação dos sedimentos por dimensão das partículas (análise granulométrica); (ii) destruição dos carbonatos de cálcio (CaCO_3) provenientes de material biogénico (exo e endoesqueletos de animais) e de fragmentos calcários, presentes nos sedimentos (calcimetry).

Iniciou-se com a recolha de uma porção estatisticamente válida de cerca de 100 g de cada uma das amostras. Estes sedimentos, que constituem por si a amostra, foram colocados em copos de vidro de 1 000 ml *SIMAX* onde foram lavados com água desionizada de modo a retirar qualquer matéria orgânica não carbonatada que pudesse existir. Foram depois colocados numa estufa *MMM Venticell* durante cerca de oito horas a uma temperatura de 60°C para proceder à sua secagem. Posteriormente, as amostras foram pesadas numa balança electrónica *KERN GJ*, com precisão de uma casa decimal (0,01 g), de modo a aferir o peso da fracção arenosa.

Após esta etapa inicial procedeu-se, efectivamente, à análise granulométrica recorrendo a um agitador de peneiros *Retsch*® AS 200 provido de uma coluna de peneiros *Retsch*®. A coluna de peneiros, constituída por 13 peneiros (mais base), com rede a variar entre $-2,0 \phi$ e $4,5 \phi$ ($4,0 \text{ mm}$ e $0,044 \text{ mm}$), intervalados de $0,5 \phi$, foi submetida a agitação durante cerca de 20 minutos. Cada fracção de sedimentos retida nos peneiros foi retirada, pesada e catalogada.

Para efectuar a calcimetria foi seguida a mesma metodologia inicial, isto é, recolheram-se 100 g de sedimentos de cada amostra, que foram lavados, secados e pesados para aferir o peso da inicial da amostra. Posteriormente, foi adicionado a cada amostra uma porção de ácido clorídrico (HCl) que permitiu destruir o CaCO_3 presente. Após esta etapa, as amostras foram novamente lavadas (diversas vezes, para eliminar qualquer vestígio do HCl), secadas e pesadas, aferindo-se assim o peso da fracção arenosa. A diferença entre o peso inicial da amostra e o peso da fracção arenosa constituiu o peso da fracção carbonatada.

Os valores obtidos da granulometria foram submetidos a tratamento estatístico, utilizando a folha de cálculo *GRADISTAT* (Blott, 2001), de modo a calcular os parâmetros granulométricos de média (x), desvio-padrão (δ), assimetria (Sk) e curtose (K_G), segundo o método Folk & Ward (1957). De acordo com Folk & Ward (1957) e Friedman & Sanders (1978), a análise destes parâmetros permite reconhecer relações entre a dimensão das partículas e o agente de transporte.

3. O SISTEMA DUNAR DE PENICHE-BALEAL

3.1. ENQUADRAMENTO ESPAÇO-TEMPORAL

O sistema dunar de Peniche-Baleal, assim designado por se encontrar limitado pelos tómbolos de Peniche (a ocidente) e do Baleal (a oriente), localiza-se na costa ocidental portuguesa e insere-se na Região Oeste do território nacional, no concelho de Peniche (Figura 3.1.).



Figura 3.1. Localização geográfica da Península de Peniche (A) e do sistema dunar de Peniche-Baleal (B). O polígono branco na imagem B delimita a área de estudo (Base cartográfica: Imagem de satélite da Península Ibérica e Ortofotomapa 2005, respectivamente).

Juntamente com outro sistema dunar, o da Consolação, localizado a sul de Peniche, constituem ambos uma vasta área de acumulação de sedimentos que, de acordo com a opinião expressa por França *et al* (1960), teve a sua génese durante o Holocénico (10 000 anos BP – presente). Ter-se-à constituído depois da estabilização do nível médio do mar, há cerca de 5 000–3 000 anos BP, quando este atingiu aproximadamente o nível actual (Dias, 2005, 2004).

Com efeito, a evolução da linha de costa portuguesa (e global) tem sofrido várias modificações devido à influência da variabilidade dos mecanismos forçadores que determinam as características do litoral, principalmente a do oceano. De acordo com Dias (2005, 2004) e Ferreira (2002), as transgressões e regressões marinhas (oscilações eustáticas e relativas do nível do mar) que se verificaram nos últimos milhares de anos, decorrentes das alterações climáticas terrestres, originaram modificações na posição e configuração do litoral.

Investigações, designadamente levantamentos batimétricos e estudos geológicos, sedimentares e geomorfológicos, realizadas por Dias (1987), Magalhães (1999) e Rodrigues *et al* (2000) na plataforma continental portuguesa adjacente, indicam que há cerca de 18 000 anos BP, no Último Máximo Glaciar (UMG), a linha de costa situar-se-ia a algumas dezenas de quilómetros da actual linha de costa, a profundidades compreendidas entre 120-140 m. O actual promontório de Peniche estaria então afastado da linha de costa cerca de duas dezenas de quilómetros. As actuais ilhas do arquipélago das Berlengas (Farilhões, Forçadas, Estelas e Berlenga), Peniche e Baleal constituiriam relevos elevados, como pequenas serras com altitude superior a 110 m, integrados no território emerso de Portugal Continental (Figura 3.2. A).

Segundo Dias (2004), a posterior fusão dos gelos das calotes glaciárias e dos glaciares de montanha, há cerca de 16 000 anos BP, causou uma elevação moderada do nível médio do mar, atingindo o nível da batimétrica de 100 m. Seguir-se-ia um período de relativa estabilização que se prolongou até há cerca de 13 000 anos BP. O arquipélago das Berlengas, Peniche e Baleal, continuariam integrados no território emerso, embora a área emersa tivesse sido substancialmente reduzida devido à transgressão marinha (Figura 3.2. B).

Entre 13 000–11 000 anos BP ter-se-á verificado nova transgressão marinha, muito rápida, na sequência de um rápido aquecimento global do planeta (Dias, 2004). Face ao novo nível de base, agora situado ao nível da batimétrica de 40 m, as ilhas Farilhões e Forçadas terão ficado definitivamente isoladas pelo oceano, enquanto as Estelas, Berlenga, Peniche e Baleal continuariam integrados no território emerso, elevando-se agora a altitudes mais modestas (Figura 3.2. C).

Seguir-se-ia nova alteração climática que permitiu o regresso de condições com carácter glaciário, período denominado na literatura científica de *Younger Dryas*, que ocorreu há cerca de 11 000 anos BP (Dias, 2004; Ferreira, 2002). Este período frio foi responsável por nova descida do nível do mar, em cerca de 20 m, que ter-se-ia então situado ao nível da batimétrica de 60 m, como mencionam Dias (2004, 1987) e Rodrigues *et al* (2000). Esta nova posição do nível médio do mar não alterou a condição insular das Farilhões e Forçadas, nem a condição das Estelas, Berlenga, Peniche e Baleal que terão continuado integrados no território emerso (Figura 3.2. D).

Há cerca de 10 000 anos BP as condições climáticas terão mudado de novo, iniciando o denominado Ótimo Climático do Holocénico, em que a temperatura média global da atmosfera seria superior à actual em 1,5°C (Ferreira, 2002).

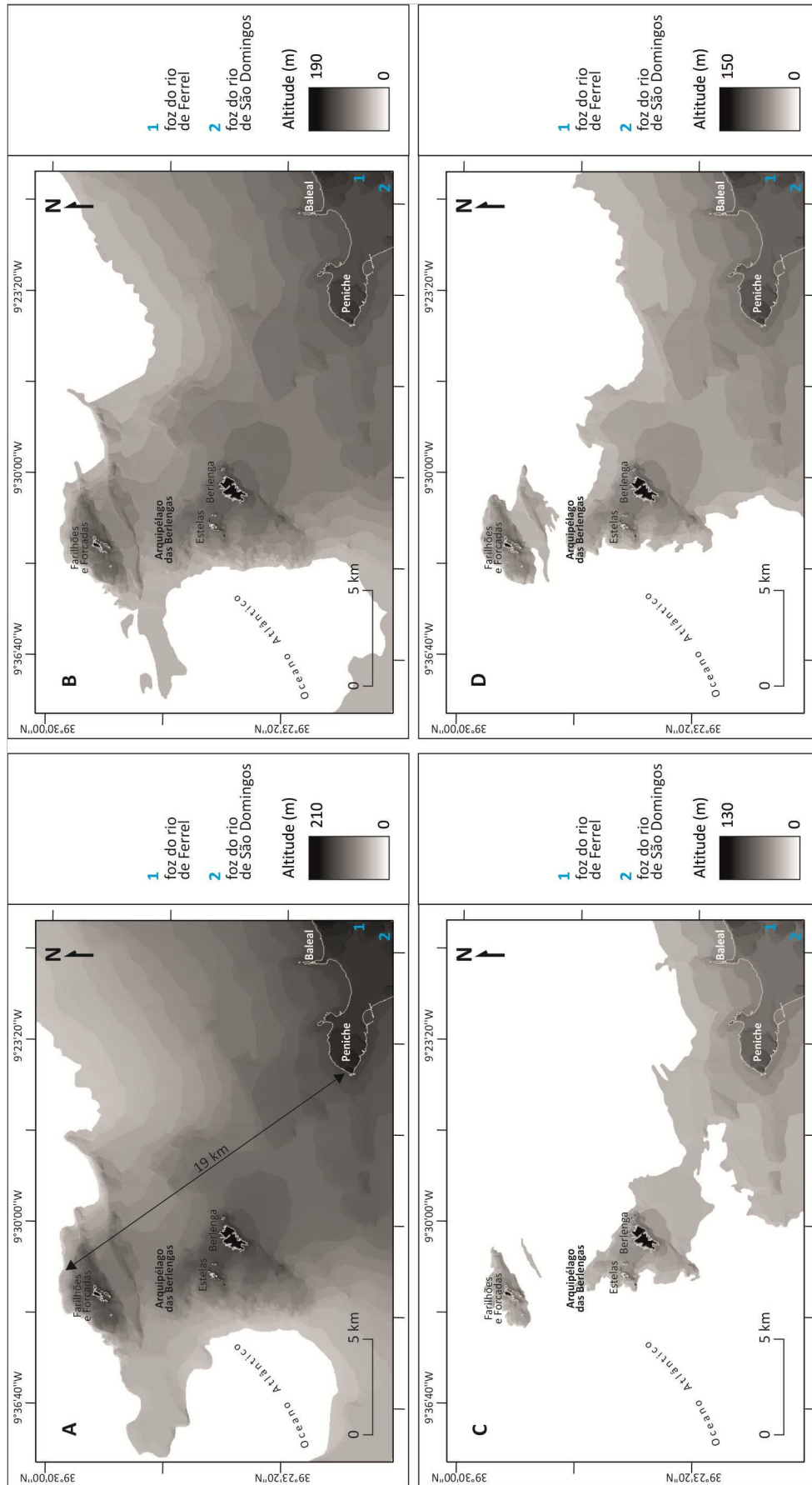


Figura 3.2. Traçado aproximado da linha de costa na região de Peniche há 18 000 anos BP (A); 16 000-11 000 anos BP (B); 10 000 anos BP (C); 13 000-11 000 anos BP (D). O limite branco é indicativo da linha de costa actual (Base cartográfica: Carta Batimétrica do Canhão da Nazaré e Altimetria 1:25 000).

De acordo com Dias (2004), neste período registou-se uma acentuada elevação do nível médio do mar, na ordem das dezenas de metros, que seria ininterrupta durante alguns milénios, verificando-se o intenso assoreamento da foz e estuários dos rios portugueses.

O nível médio do mar terá estabilizado há cerca de 5 000–3 000 anos BP, atingindo aproximadamente o nível actual, o que possibilitou a regularização do perfil de equilíbrio dos cursos de água e, consequentemente, a contribuição dos estuários com sedimentos para a plataforma continental. Por esta altura, as Estelas e Berlenga isolaram-se, definitivamente, do restante território emerso, e Peniche e Baleal exibiram contornos insulares. Ramos-Pereira *et al* (2008) refere que o oceano teria inundado a plataforma litoral existente e penetrado pelos vales fluviais dos rios de Ferrel e São Domingos que apresentariam encaixe muito superior ao actual.

A extensão que as aluviões holocénicas ocupam na Carta Geológica de Peniche permite adivinhar o limite da linha de costa há cerca de 5 000–3 000 anos BP, bem como o limite da foz dos rios Ferrel e São Domingos, que se situariam na proximidade das actuais povoações de Ferrel e Atouguia da Baleia, respectivamente (Figura 3.3.).

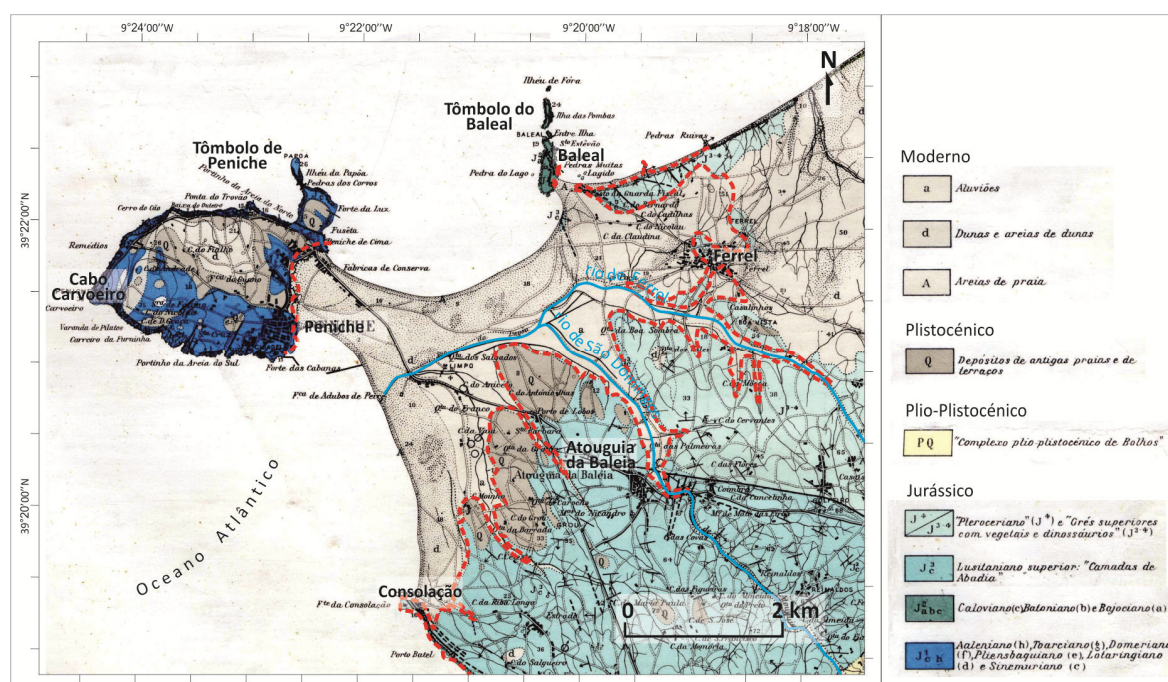


Figura 3.3. Traçado aproximado da linha de costa (a vermelho) na região de Peniche há cerca de 5 000–3 000 anos BP (Base cartográfica: Carta Geológica de Peniche).

Nos três últimos milénios existiriam ainda pequenas oscilações climáticas, designadamente o Pequeno Ótimo Climático (séculos XI-XIV) e a Pequena Idade do Gelo (séculos XV-XIX) que originaram pequenas oscilações no nível médio do mar (Dias, 2005; Henriques, 1996). De acordo com Dias (2005), a magnitude destas oscilações é desconhecida uma vez que o assunto não foi ainda devidamente aprofundado. Contudo, sabe-se que a acção antrópica no último milénio,

nomeadamente a intensificação da agricultura e a desflorestação de vastas áreas para o alargamento dos perímetros agrícolas e comercialização de madeira, contribuiu para o incremento da erosão hídrica dos solos e, consequentemente, para o incremento dos sedimentos transportados para o litoral, como salientam Daveau (1980), Dias (2005, 2004), Henriques (1996), Henriques *et al* (2002) e Ramos-Pereira (2001).

Assim, verificou-se o assoreamento progressivo de vários troços litorais no território nacional, onde se inclui a constituição dos tómbolos de Peniche e Baleal que ainda seriam ilhas no século XII (Blot, 2003; Dias, 2004; Henriques, 1996; Henriques *et al*, 2002). Com efeito, documentação histórica compilada por Blot (2003) indica que Atouguia da Baleia, que actualmente dista cerca de 3,5 km da linha de costa, foi um importante porto de mar até ao decorrer da época medieval. Porém, o assoreamento progressivo da foz e estuário do rio de São Domingos, entre os séculos XIII-XVI, terá comprometido a sua navegabilidade e estará na origem do desaparecimento desse porto de mar e da deslocação da população e das estruturas defensivas e portuárias para a localidade de Peniche, em detrimento de Atouguia da Baleia, no início do século XVII (Figura 3.4.).

A génese dos sistemas dunares de Peniche-Baleal e da Consolação, bem como dos tómbolos de Peniche e Baleal, é correlativa desse assoreamento, decorrente do transporte de sedimentos por via fluvial, marinha e eólica, que permitiu o *crescimento e agradação de vários cordões arenosos, encimados por aparelhos dunares* (Henriques *et al*, 2002).

Este troço litoral sofreu um longo processo de evolução geomorfológico que ocorreu durante séculos, tendo o sistema dunar de Peniche-Baleal e da Consolação e os tómbolos de Peniche e Baleal ficado definitivamente prefigurados no século XVI, quando *a ilha de Peniche perdeu a sua insularidade* (Blot, 2003), embora Dias (2009) relate que ainda no século XVII, aquando da preiamar viva, o mar cobria estas acumulações sedimentares.

3.2. TRAÇOS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO

O sistema dunar de Peniche-Baleal insere-se, como foi referido, numa vasta área de acumulação de sedimentos holocénicos que se estende até à Consolação, a sul de Peniche. Encontram-se presentemente separados em consequência da expansão da área urbana e portuária de Peniche apesar de ambos pertencerem à mesma unidade geomorfológica – tómbolo – como referem Henriques & Neto (2002) e Neves (2006).

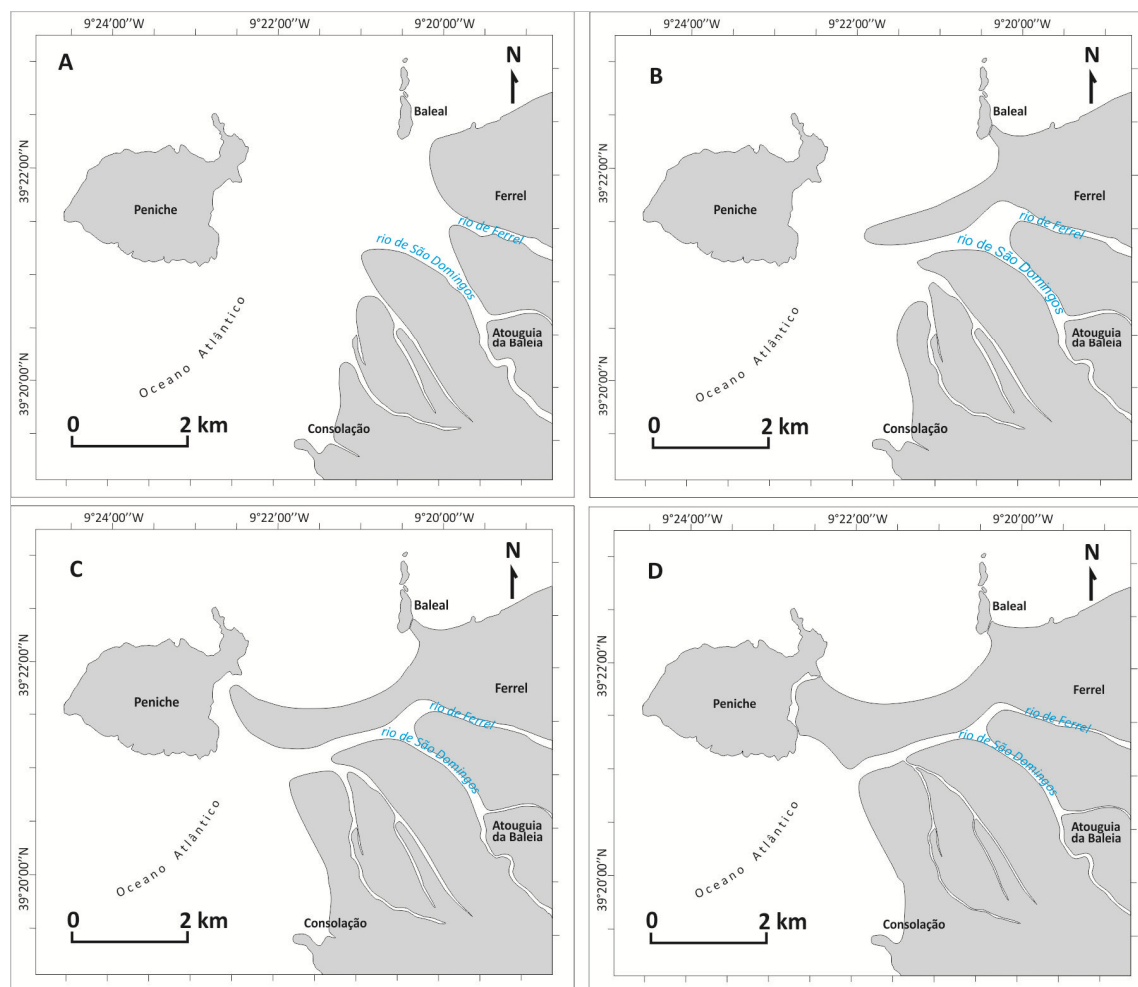


Figura 3.4. Assoreamento litoral da região de Peniche. Constituição do sistema dunar e tómbolos durante os séculos XII (A); XIV (B); XV (C); XVI (D) (Adaptado de Blot, 2003; Base Cartográfica: Carta Geológica de Peniche).

A área em estudo foi restringida ao troço litoral compreendido entre os tómbolos de Peniche e do Baleal, com limite interior a coincidir com a Estrada Municipal Nº 578, que liga os núcleos urbanos de Peniche e Baleal, atravessando o sistema dunar (reveja-se a Figura 3.1.).

A exclusão da área localizada a sotavento da Estrada Municipal Nº 578 justifica-se pelo facto de nela existirem (ou estar reservada para) espaços com ocupação urbana, turística ou agrícola, segundo foi possível apurar pela consulta do Plano Director Municipal (PDM) de Peniche (PDM, 1994) e do POOC Alcobaça-Mafra (instituído pela Resolução de Conselho de Ministros nº 11/2002 de 17 de Janeiro), e pelas observações realizadas durante os levantamentos de campo. De facto, estes instrumentos de ordenamento do território (PDM e POOC) reflectem a estratégia de desenvolvimento territorial do concelho de Peniche que, à semelhança de outros concelhos litorais, aposta fortemente nas actividades turísticas e recreativas, destinando para esse efeito vastas áreas contíguas à Estrada Municipal Nº 578.

O crescimento das actividades turísticas no concelho terá sido despoletado pela construção da supracitada via, paralela à linha de costa e a romper o sistema dunar, na década de 1970, facilitando a implementação, ao longo de quase toda a sua extensão, de diversos estabelecimentos turísticos, nomeadamente hotéis, apartamentos turísticos, *surf camps* e campos de campismo.

A abertura da Estrada Municipal Nº 578 em pleno sistema dunar modificou a morfologia dunar e delineou uma fronteira artificial que interrompe de forma abrupta a sua dinâmica natural.

Considerou-se que apenas a área a barlavento da Estrada Municipal Nº 578 apresenta características de um sistema dunar relativamente activo, isto é, em que a sua evolução geomorfológica é condicionada pelo agente geomorfológico vento, como sugere Laranjeira (1997). Assim limitado, o sistema dunar de Peniche-Baleal totaliza uma área de 1,06 km² e estende-se por cerca de 3,5 km de linha de costa, com exposição a Norte.

O esquiço geomorfológico do sistema dunar de Peniche-Baleal e sua envolvente ilustra as características geomorfológicas e antrópicas que seguidamente se descrevem (Figura 3.5.).

O sistema dunar de Peniche-Baleal é um troço litoral baixo e arenoso marginado por imponentes relevos constituídos por rochas jurássicas, calcários e arenitos com cerca de 70 milhões de anos (França *et al*, 1960) talhadas em arriba – promontórios rochosos de Peniche e do Baleal – que se elevam atingindo os 30 m de atitude.

Apresenta uma praia com largura média inferior a 80 m (distância compreendida entre o nível do mar em preiamar morta e a duna frontal), em forma de arco, que contacta para o interior com a duna frontal do sistema dunar. A duna frontal ergue-se sobranceira à praia alta formando, em determinados troços, uma micro-arriba de erosão de altura variável. A crista de duna frontal nunca atinge altitudes superiores a 15 m (Fotos 3.1. A e B).

No extremo ocidental do sistema dunar, junto ao núcleo urbano de Peniche, na praia da Gamboa, a duna frontal foi estabilizada artificialmente na década de 1980, de acordo com Henriques & Neto (2002). A duna artificial apresentando um talude artificial de forma rectilínea, com declive moderado, e atinge altitudes entre os 10-15 m (Fotos 3.1. C). No extremo oriental, junto ao núcleo urbano do Baleal, na praia do Baleal Sul, a duna frontal contacta com uma plataforma rochosa modelada em argilas, margas e grés de idade jurássica, complexo denominado por França *et al* (1960) de “Camadas da Abadia” (Fotos 3.1. D). Esta plataforma rochosa esta parcialmente coberta por areias de praia e é *posta a descoberto nos períodos de maior emagrecimento da praia* (Henriques, 1996).

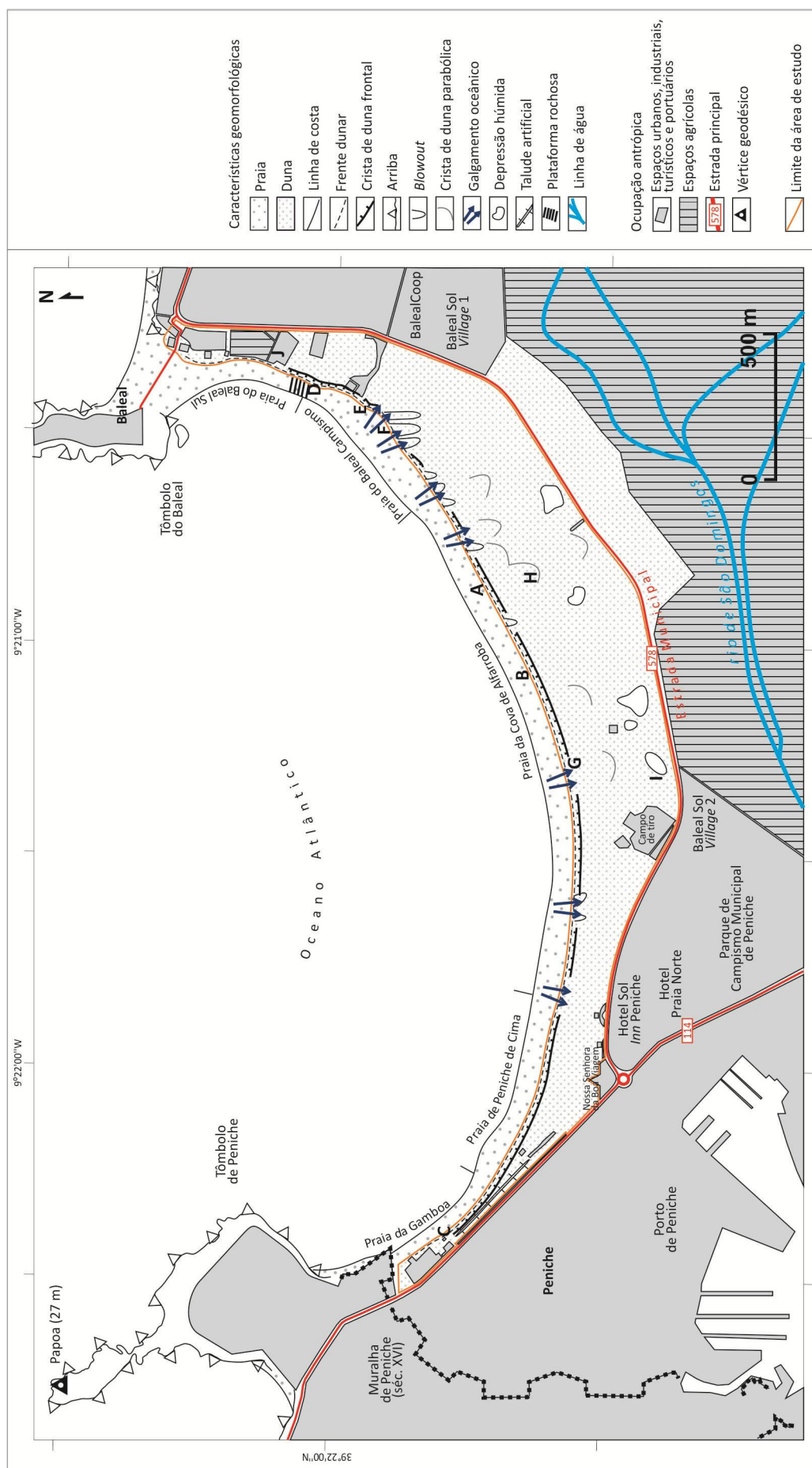


Figura 3.5. Esqueto geomorfológico do sistema dunar de Peniche-Baleal e área envolvente. As letras são indicativas da localização das Fotos.3.1. (Base cartográfica: Ortofotomapa 2005).

A duna frontal encontra-se bastante degradada devido à presença de várias brechas e *blowouts*, alguns de dimensão considerável, localizadas sobretudo nos troços que correspondem às praias de Peniche de Cima e do Baleal Campismo (Fotos 3.1. E e F). Também o talude artificial (duna artificial) apresenta algumas brechas ao longo da sua extensão. Estas formas de erosão constituem depressões na duna frontal que facilitam a penetração do mar originando graves problemas de erosão marinha e de degradação da frente dunar (Fotos 3.1. G).

O sistema dunar prolonga-se para o interior da plataforma litoral evidenciando uma topografia moldada por algumas cristas e depressões interdunares, raras vezes ultrapassando altitudes superiores a 15 m. No troço central do sistema dunar, onde a morfologia dunar está mais preservada, é possível identificar algumas cristas de dunas parabólicas (Fotos 3.1. H), características já reconhecidas por Henriques (1996) e Henriques & Neto (2002).

A largura do sistema dunar é variável mas sempre inferior a 500 m, verificando-se um aumento da sua largura de ocidente até ao troço central, mais robusto, entre os troços que correspondem às praias de Peniche de Cima e da Cova de Alfarroba, e uma diminuição daí para oriente.

No troço central do sistema dunar, contíguo à praia da Cova de Alfarroba, junto à Estrada Municipal Nº 578, são observáveis depressões húmidas, à cota dos 4-5 m, que devido à posição mais superficial da toalha freática apresentam algum volume de água e uma cobertura vegetal densa (Fotos 3.1. I).

A ocupação antrópica do sistema dunar é evidente, e o nível de ocupação varia entre moderada e muito intensa. É moderada no troço central do sistema dunar, onde é possível constatar a presença de uma edificação (armazém), um campo desportivo destinado à prática de tiro ao alvo (segundo testemunhos locais esta actividade neste local é ocasional), um monumento à Nossa Senhora da Boa Viagem (padroeira dos pescadores e do município de Peniche), dois apoios de praia (construídos em alvenaria e madeira) e algumas áreas utilizadas como parque de estacionamento não ordenado. Nos extremos ocidental e oriental do sistema dunar, juntos aos núcleos urbanos de Peniche e Baleal, respectivamente, a ocupação antrópica é muito intensa. Aqui, habitações, armazéns, apoios de praia (construídos em alvenaria e madeira), parques de estacionamento não ordenados e ordenados, indícios de prática de campismo selvagem e algumas parcelas agrícolas abandonadas, apoderam-se do sistema dunar (Fotos 3.1. J).

Adicionalmente, os seis perfis topográficos, realizados na Primavera de 2008 em diferentes troços do sistema dunar (Figura 3.6.), contribuíram para a caracterização da morfologia dunar e da frente dunar indicando, nomeadamente, a altura e extensão do sistema nos diversos troços considerados.



Fotos 3.1. Frente dunar cortada em arriba, com cerca de 3 m de comando (A); Crista de duna frontal (B); Duna artificial (C); Plataforma rochosa (D); Incisão de brechas na duna frontal (E); *Blowout* na duna frontal (F); Indício de galgamento oceânico a sotavento da duna frontal (G); Crista de duna parabólica (H); Depressão húmida (I); Indícios de campismo selvagem (J). Localização das fotos na Figura 3.5.

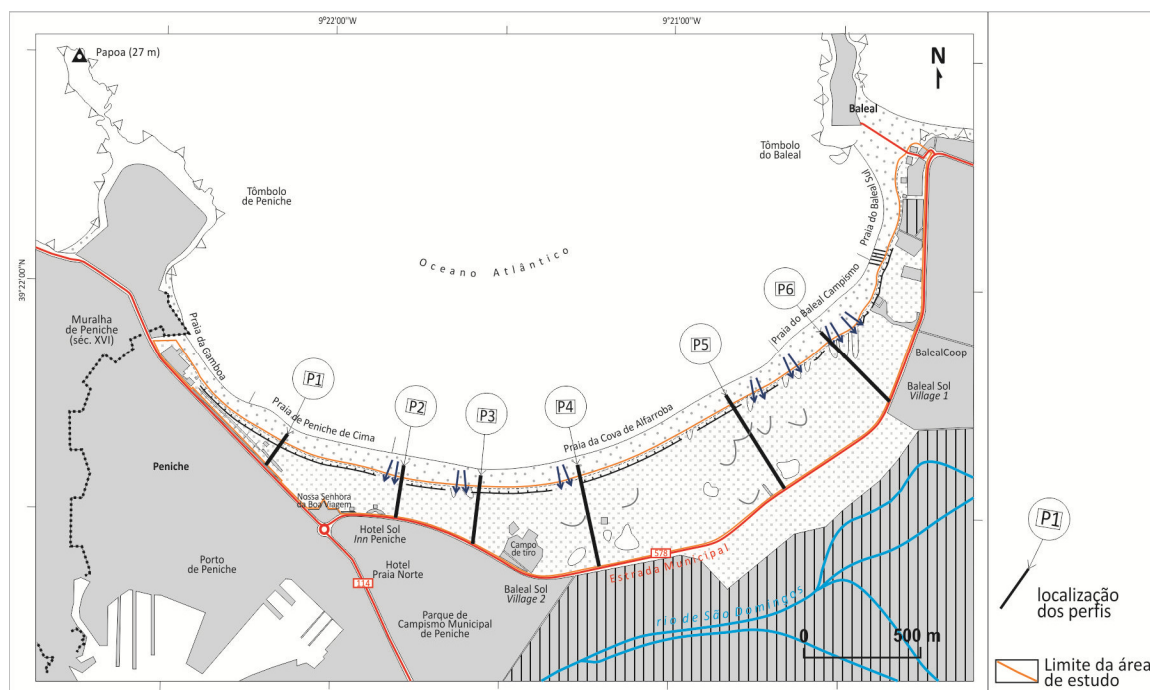


Figura 3.6. Localização dos perfis topográficos realizados no sistema dunar de Peniche-Baleal (Primavera de 2008) (Base cartográfica: Ortofotomapa 2005).

As características dos perfis topográficos, enumerados de oriente para ocidente, são sucintamente apresentadas no Quadro 3.1.

Quadro 3.1. Descrição dos perfis topográficos realizados no sistema dunar de Peniche-Baleal (Primavera de 2008).

LOCALIZAÇÃO		CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS
P1	troço mais ocidental, junto à praia de Peniche de Cima	apresenta uma largura de 126 m, a mais modesta no conjunto dos perfis; possui uma crista de duna frontal bem definida que atinge 14 m de altitude, modelada artificialmente, interrompida por um caminho não ordenado bastante largo; contacta com a Estrada Municipal Nº 578 por um talude artificial declivoso (Figura 3.7. e Fotos 3.2. A e B).
P2	troço inicial da praia da Cova de Alfarroba	apresenta uma largura de 156 m; a morfologia dunar é incipiente, sem clara definição de crista de duna frontal devido à instabilização dos sedimentos (Figura 3.7. e Fotos 3.2. C).
P3	praia da Cova de Alfarroba	a largura do sistema dunar aumenta para duas centenas de metros (208 m); apesar da degradação da frente dunar, recortada por várias brechas, é possível reconhecer uma crista dunar que se eleva atingindo 14 m de altitude; a duna prolonga-se para sotavento moldada numa superfície plana e baixa (Figura 3.7. e Fotos 3.2. D).
P4	troço central da praia da Cova de Alfarroba	a largura do sistema dunar aumenta para 388 m; reconhece-se a crista de duna frontal, degradada, que se eleva a 13 m de altitude, duas cristas dunares a altitude inferior a 10 m, e duas depressões interdunares à cota de 5 m (Figura 3.7. e Fotos 3.2. E e F).
P5	troço terminal da praia da Cova de Alfarroba	a largura do sistema dunar atinge 416 m sendo este o troço mais largo e robusto do sistema dunar; exhibe uma morfologia dunar moldada pela crista de duna frontal e três cristas dunares que se elevam atingindo 10-13 m de altitude, e três depressões interdunares à cota de 5-7 m (Figura 3.7. e Fotos 3.2. G e H).
P6	troço mais oriental, junto à praia do Baleal Campismo	a largura do sistema dunar decresce para 337 m; a crista de duna frontal atinge 11 m de altitude, está muito degradada, devido à presença de brechas e <i>blowouts</i> , algumas de dimensão considerável; a sotavento da duna frontal identifica-se uma crista dunar e duas depressões interdunares (Figura 3.7. e Fotos 3.2. I e J).

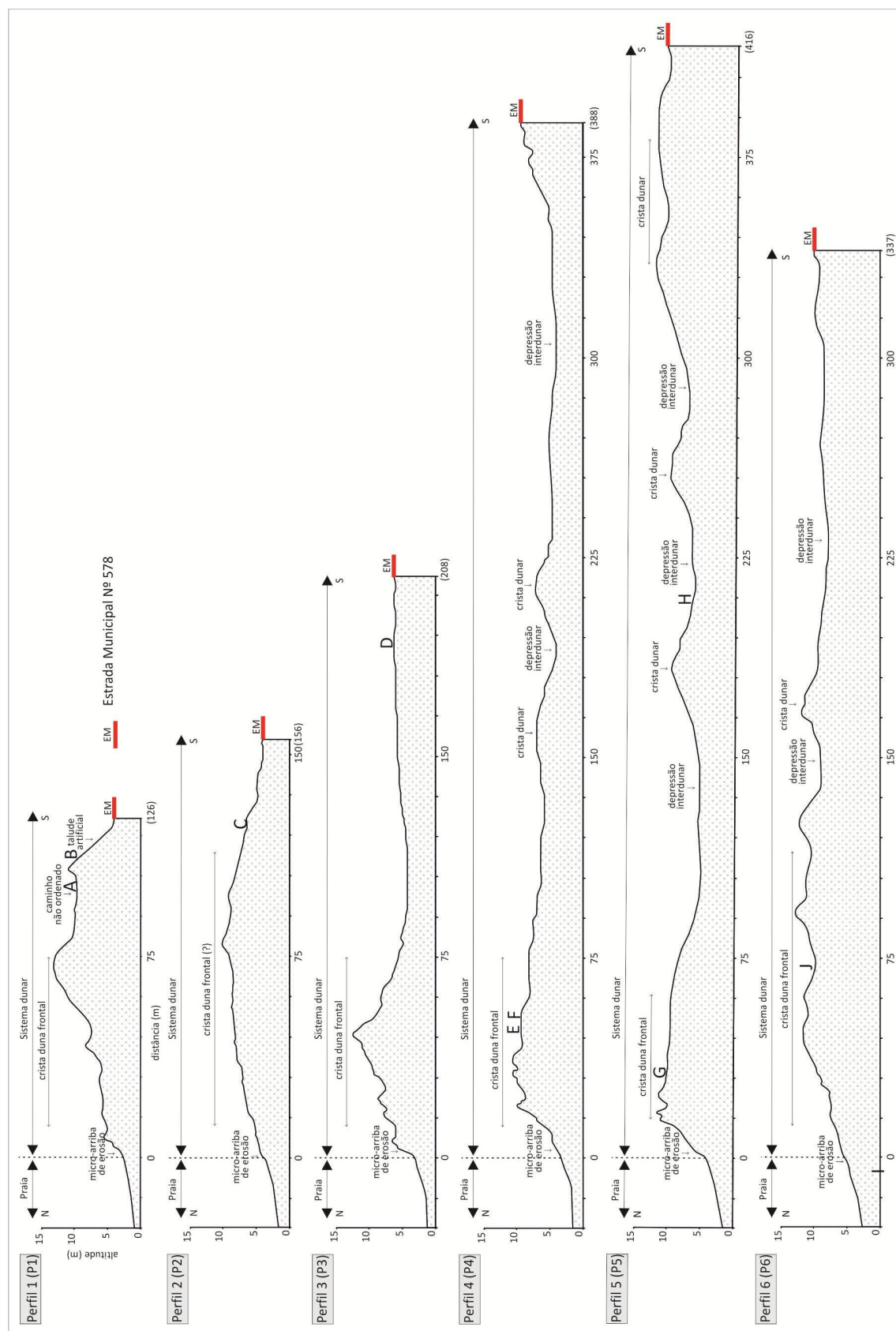


Figura 3.7. Perfis topográficos do sistema dunar de Peniche-Baleal (Primavera de 2008). As letras nos perfis são indicativas da localização das Fotos 3.2.



Fotos 3.2. Caminho não ordenado sobre duna frontal (A); Talude artificial declivoso (B); Duna frontal instabilizada (C); Superfície plana e crista de duna frontal (D); Degradação da crista de duna frontal (E); Cristas e depressões interdunares a sotavento da duna frontal (F); Brechas na duna frontal (G); Depressão interdunar (H); Duna frontal cortada por brechas e *blowouts* (I); Crista de duna frontal (J). Localização das fotos na Figura 3.7.

Todos os perfis apresentam uma micro-arriba de erosão marinha talhada na duna frontal, mais pronunciada nos perfis P3, P4 e P5. No Inverno e em situações de tempestade (quando a hidrodinâmica é mais energética) e de preamar viva, as ondas galgam a praia alta e invadem as brechas e *blowouts* existentes na duna frontal, originando galgamentos oceânicos que causam danos na morfologia e vegetação dunar e promovem a erosão marinha e o estado de degradação da frente dunar.

A ocorrência de erosão marinha e de galgamentos oceânicos na frente dunar é recorrente, de acordo com o testemunho de alguns locais. Foi anteriormente reconhecida e documentada por Ferreira (1902 *in* Henriques & Neto, 2002), no início do século XX, e Henriques (1996).

3.3. A DINÂMICA EÓLICA E OS FACTORES CONDICIONANTES

Os sistemas dunares litorais existem em estreita relação com a presença de praias arenosas fornecedoras de sedimentos e com a acção dos agentes geomorfológicos naturais, responsáveis pela sua génese e evolução: vento e oceano.

O vento, agente geomorfológico elementar destas formas litorais, mobiliza os sedimentos da praia (por arraste, saltação e suspensão) e, por perda de competência de transporte, deposita-os no sistema dunar (Carter, 1988; Friedman & Sanders, 1978; Maun, 2009; Pye & Tsoar, 2009; Ramos-Pereira, 2008b, 1987; Ranwell, 1972). Pode ainda actuar com agente de erosão, por deflacção na superfície dunar, originando os denominados corredores de deflação eólica que podem evoluir para formas geomorfológicas de maior envergadura como *blowouts*, como mencionam Hesp (2002) e Ramos-Pereira (1987).

Para existir transporte eólico é necessário que o vento, com determinada velocidade, a suficiente para romper a inércia dos sedimentos – limiar repouso-movimento (Bagnold, 1941 *in* Ramos-Pereira, 1987) – sople dominante de mar para terra, pelo menos uma parte do ano, sobre uma superfície de deflação, geralmente a praia, com sedimentos de dimensão apropriada e pouco coesos, isto é, preferencialmente uma superfície com sedimentos de areia fina e seca. Ramos-Pereira (1987), à semelhança de diversos autores mencionados em Pye & Tsoar (2009), sugere que a presença de água, proveniente da precipitação, da humidade atmosférica ou das marés, aumenta a coesão⁹ dos sedimentos dificultando a sua mobilização eólica.

⁹A coesão resulta da aderência dos grãos de areia devido à força de tensão, entre as moléculas de água e os grãos de areia, do filme de água que as envolve (Chepil, 1956 *in* Pye & Tsoar, 2009).

Importa analisar as condições locais de vento (velocidade média, direcção e frequência), precipitação e humidade atmosférica para determinar a sua influência na evolução geomorfológica do sistema dunar de Peniche-Baleal.

O vento é dominante de Norte durante grande parte do ano, com um total de 35,3% das observações anuais, e atinge uma velocidade média anual de 19,4 km/h (Figura 3.8.). Outras direcções importantes, mas menos frequentes, são as provenientes dos quadrantes de NE (14,3% das observações anuais) e S (14,2% das observações anuais). Os ventos provenientes dos quadrantes E e SW, com apenas 5,9% e 5,1% das observações anuais, respectivamente, são os menos frequentes.

É sobretudo nos meses de Primavera e Verão, entre Abril e Setembro, que o vento de Norte tem claro predomínio, apresentado durante este período frequência mensal $\geq 39,9\%$ das observações, e velocidade média mensal $\geq 16,4$ km/h. O mês de Julho regista o número mais elevado de observações (60,9%) mas a sua dominância é também evidente nos meses de Maio (49,8%), Junho (53,9%) e Agosto (57,3%). Neste período, compreendido entre a Primavera e Verão, a velocidade média mensal do vento de Norte atinge o valor máximo no mês de Abril (21,8 km/h), diminuindo progressivamente nos meses seguintes, Maio (20,1 km/h), Junho (19,1 km/h), Julho (18,3 km/h), Agosto (17,9 km/h) e Setembro (16,4 km/h). Este comportamento do vento, com clara predominância de Norte durante os meses de Verão, quando originado por uma circulação atmosférica que apresenta uma célula anticiclónica no Oceano Atlântico e uma célula depressionária da Península Ibérica, é um fenómeno bem conhecido da fachada litoral ocidental portuguesa designado por *Nortada* (Ramos-Pereira, 2001). Os ventos dos quadrantes SE, S e SW, que sopram de terra para mar, apresentam neste período de Abril a Setembro, menor frequência (o número de observações $< 10\%$) e velocidade média mensal (≤ 15 km/h).

Estes dados são muito importante pois revelam que o sistema dunar de Peniche-Baleal, amplamente exposto a Norte, não é severamente prejudicado pela perda de sedimentos transportados por vento de terra para mar durante o período estival. Com efeito, a sua exposição e o regime dos ventos, forte e dominante de mar para terra, beneficiam a mobilização eólica de sedimentos da praia para o sistema dunar.

A precipitação (P) regista um quantitativo anual de 591,2 mm distribuídos por cerca de 110 dias. O período mais chuvoso compreende os meses de Outubro a Abril, e destes, Dezembro e Janeiro são os mais chuvosos com valores de 81,7 mm e 88,6 mm, respectivamente. Os meses mais secos são os meses de Julho e Agosto com quantitativos de precipitação < 6 mm (Figura 3.9.).

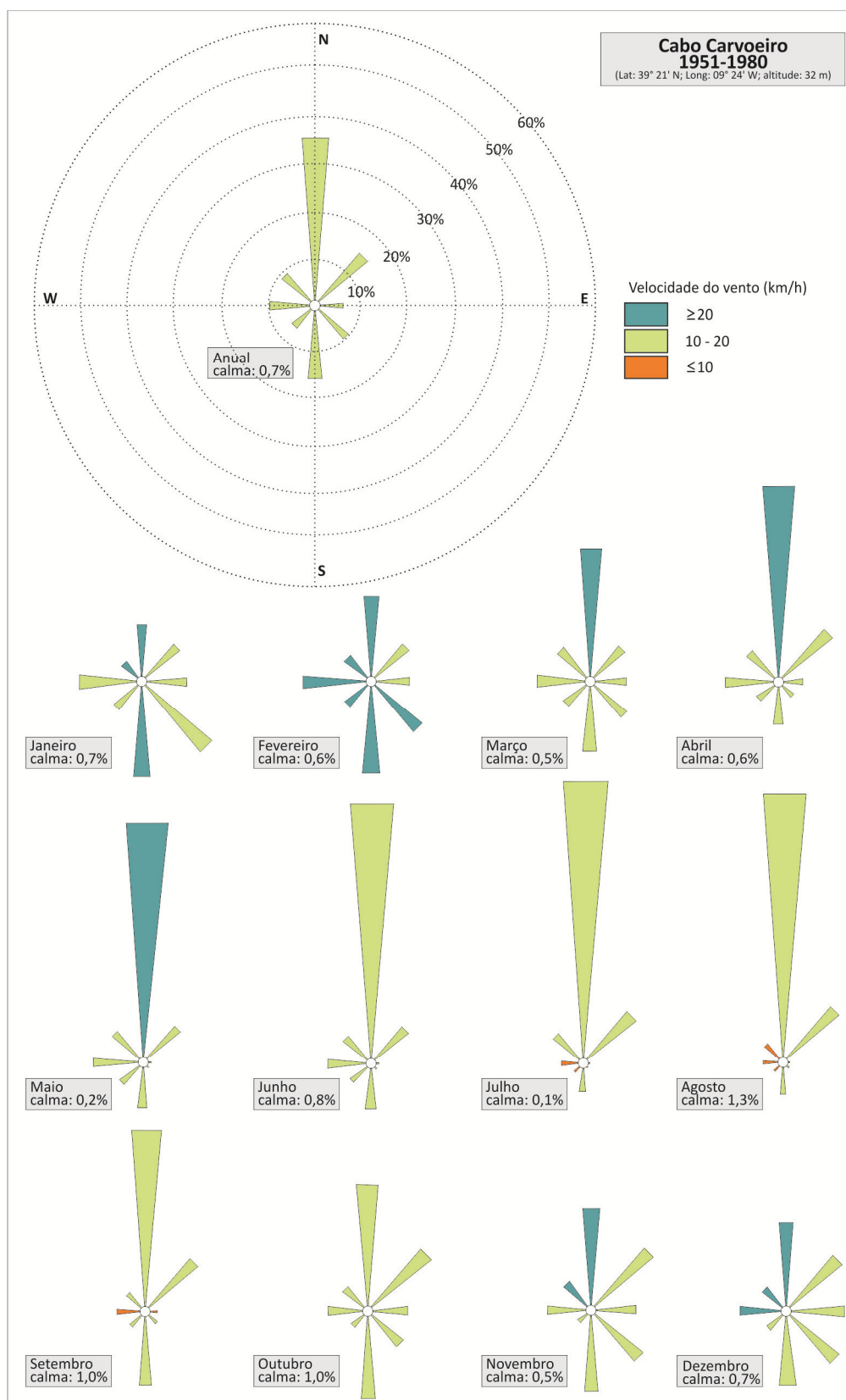


Figura 3.8. Observação anual e mensal da velocidade média, direcção e frequência do vento, para a estação meteorológica de Cabo Carvoeiro (Base estatística: INMG, 1991).

As temperaturas médias mensais mais elevadas ($T > 15,2^{\circ}\text{C}$) registam-se nos meses de Maio a Outubro, mas os valores mais elevados atingem-se nos meses de Agosto e Setembro, com $18,3^{\circ}\text{C}$ e $18,2^{\circ}\text{C}$, respectivamente (Figura 3.9.).

Os dados indicam que a temperatura média anual do ar é $15,0^{\circ}\text{C}$, e a temperatura média máxima anual é $17,3^{\circ}\text{C}$. Os meses mais quentes, Agosto e Setembro, registam uma temperatura média máxima anual igual a $20,4^{\circ}\text{C}$. Existem cerca de quatro dias por ano com temperatura média máxima superior a 25°C .

A humidade atmosférica média anual (H) é 83,3%, mas nos meses de Junho, Julho, Agosto e Setembro registam-se valores de $H > 85\%$ (Figura 3.9.). Estes valores de humidade atmosférica são normais em áreas litorais uma vez que a elevada temperatura do ar verificada nos meses estivais aumenta a evaporação e, consequentemente, a humidade atmosférica. Pensa-se que a influência da humidade na coesão dos sedimentos na superfície de deflação (praia) será mínima durante os meses de Verão porque a elevada temperatura do ar possibilitará a evaporação da água existente nos interstícios dos grãos, permitindo a mobilização eólica dos sedimentos.

O gráfico termopluviométrico com indicação da humidade atmosférica média mensal (Figura 3.9.) ilustra o mencionado comportamento e permite avaliar que existe um período alargado em que se regista precipitação reduzida ($P \leq 20 \text{ mm}$) e temperatura média mensal elevada ($T \geq 16,8^{\circ}\text{C}$). Este período corresponde ao período estival e inclui os meses de Junho, Julho, Agosto e Setembro.

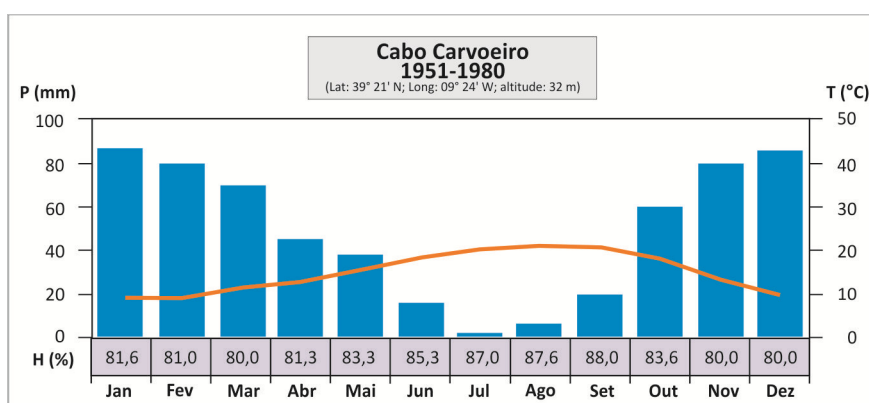


Figura 3.9. Gráfico termopluviométrico com indicação da humidade atmosférica média mensal, para a estação meteorológica de Cabo Carvoeiro (Base estatística: INMG, 1991).

A análise dos parâmetros climáticos permite constatar que no período estival existem condições climáticas favoráveis para a mobilização eólica dos sedimentos da praia e robustecimento do sistema dunar possibilitada pela (i) dominância de vento forte de Norte, de mar para terra; (ii) reduzida precipitação; (iii) elevadas temperaturas que promovem a secagem dos sedimentos na praia; características já reconhecidas por Ramos-Pereira *et al* (2008).

A precipitação desempenha ainda um papel relevante no contributo de sedimentos ao litoral através da promoção da erosão hídrica das bacias hidrográficas e do transporte e erosão fluvial.

Neves (2006) afirma que uma parte muito significativa dos sedimentos que constituem a base dos sistemas praia-duna existentes ao longo do troço litoral da Estremadura Norte foi transportada pelos cursos de água que desaguam no litoral.

Na região de Peniche, tomando em consideração (i) os modestos quantitativos de precipitação (cerca de 600 mm por ano distribuídos por 110 dias); (ii) a existência, a Norte, de pequenas ribeiras e de outros pequenos cursos de água; (iii) a reduzida dimensão das bacias hidrográficas; (iv) a drenagem do rio de São Domingos (e de Ferrel, seu afluente) efectuada a Sul do tómbolo de Peniche; (v) a retenção, a Norte, das aluviões transportadas pelos rios Arnóia e da Tornada na Lagoa de Óbidos e Baía de São Martinho do Porto, respectivamente, ambas em franco assoreamento desde o século XV (Dias, 2009; Ramos-Pereira, 2001, 1992a); (vi) a natureza litológica dos materiais aflorantes, com predominância de calcários e margas; será válido afirmar que o contributo da erosão hídrica das bacias hidrográficas e do transporte e erosão fluvial no balanço sedimentar do sistema dunar de Peniche-Baleal estará limitado ao afluxo de sedimentos de proveniência local.

Os sedimentos serão oriundos da erosão hídrica das formações detríticas do Holocénico (depósitos de antigas praias e terraços) e Plio-Plistocénico (areias e argilas do denominado “Complexo Plio-Plistocénico de Bolhos”) existentes na área envolvente às localidades de Ferrel e Bolhos, transportados para o litoral pelos pequenos cursos de água localizados a Sul da bacia hidrográfica da Lagoa de Óbidos, exemplo da Ribeira do Vale de Benfeito.

O afluxo destes sedimentos ao litoral será mais importante em episódios de precipitação intensa e concentrada. De acordo com Ferreira *et al* (2008) e Neves (2006), a resposta das bacias hidrográficas de pequena dimensão a episódios de precipitação intensa e concentrada é quase imediata.

3.4. A DINÂMICA MARINHA E OS FACTORES CONDICIONANTES

O vento, através de processos de transferência de energia para a superfície oceânica, é o elemento forçador da ondulação.

Neves (2006), Ramos-Pereira (2008a, 2001) e Trindade (2010) referem que a ondulação influencia a dinâmica sedimentar e morfológica dos sistemas litorais, particularmente dos sistemas praia-duna, pois assegura a circulação e deposição dos sedimentos na plataforma continental e é responsável por processos de erosão.

Os supracitados autores afirmam que o conhecimento das características locais do clima de agitação marítima, principalmente no que respeita à altura significativa (H_s) e altura máxima (H_{max}) da ondulação por ocasiões de tempestade é fundamental para avaliar as consequências de tais condições no sistema dunar, uma vez que a hidrodinâmica mais energética pode promover a erosão severa do sistema retirando considerável volume de sedimentos da praia e da duna frontal.

Apesar de algumas lacunas na série de dados (exemplo do período de 11 meses, entre Maio de 2000 e Abril de 2001, em Leixões) os parâmetros de H_s e H_{max} caracterizam o comportamento das ondas ao largo da costa ocidental portuguesa (Figura 3.10.).

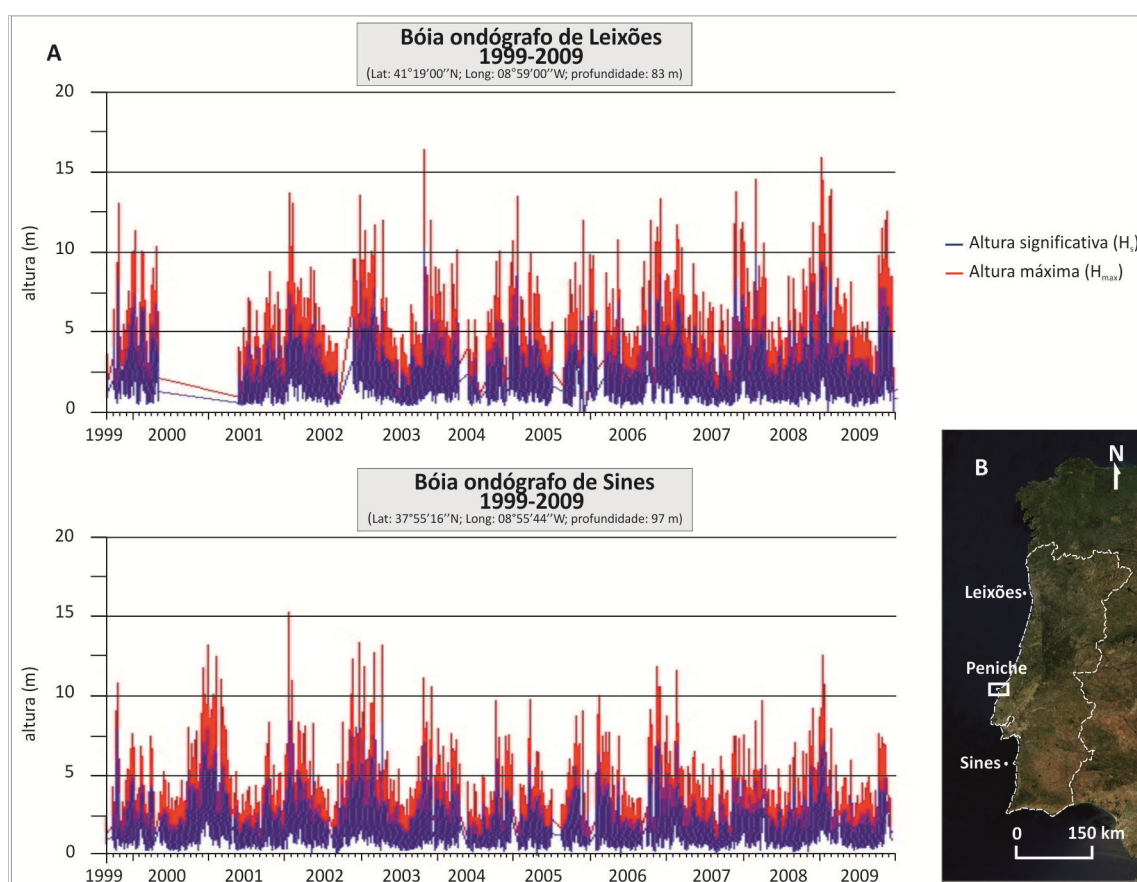


Figura 3.10. Altura significativa (H_s) e altura máxima (H_{max}) das ondas registadas nas bóias ondógrafo de Leixões e Sines (A); Mapa de localização (B) (Base estatística: IH; Base cartográfica: Imagem de satélite da Península Ibérica).

Constata-se, para ambas as bóias, a elevada frequência de ondas com H_s entre 2-3 m, principalmente durante os meses de Verão. Contudo, é possível identificar algumas situações de ondas mais energéticas em que $H_s \geq 7,5$ m, sobretudo nos meses de Inverno (em Leixões, Inverno de 2003, 2008 e 2009; em Sines, Inverno de 2002). No que respeita a H_{max} , em Leixões e Sines as ondas mais frequentes atingem 5 m, verificando-se situações em que esse valor é excedido para

o dobro ($H_{\max} \geq 10$ m), principalmente nos meses de Inverno. Os dados indicam ainda a ocorrência de valores extremos, em que $H_{\max} \geq 15$ m, registados em Leixões no Inverno de 2003 e 2008, e Sines no Inverno de 2002. Estas situações têm correspondência com os episódios em que H_s ultrapassou os valores usuais para ambas as bóias. É possível verificar um contraste no clima de agitação marítima, mais moderado no Verão e mais violento no Inverno. Com efeito, Pires (1989 *in* Neves, 2006) e Ramos-Pereira (2001, 1992a, 1991) reconhecem o contraste sazonal entre Inverno e Verão marítimo, decorrente da intensidade da hidrodinâmica, mais energética no Inverno devido a situações atmosféricas caracterizadas por organismos ciclónicos e sistemas frontais no oceano.

A direcção da ondulação incidente será proveniente do quadrante NW. Ramos-Pereira (2001) afirma que na costa ocidental portuguesa o *tipo de mar mais frequente é o denominado Mar de Noroeste que ocorre, em média, 280 dias por ano*.

Deduz-se que o troço litoral junto a Peniche terá características intermédias entre a situação mais setentrional (Leixões) e mais meridional (Sines). Porém, a investigação realizada por Trindade (2010), concretizada pela previsão de valores extremos de agitação marítima e pelo cálculo de períodos de retorno de alturas significativas de tempestade (H_{st}) e de $H_{\max} > 5$ m utilizando uma série antiga de dados (período de 1980-1985) da extinta bóia ondógrafo de Peniche (coordenadas geográficas 39°25'00"N, 09°21'30"W, profundidade 50 m), clarifica as condições locais de ondulação em episódios de hidrodinâmica mais energética (Quadro 3.2.).

Quadro 3.2. Previsão de períodos de retorno de alturas significativas de tempestade (H_{st}) e de alturas máximas ($H_{\max} > 5$ m) ao largo de Peniche.

PERÍODO DE RETORNO (anos)	H_{st} (m)	$H_{\max} > 5$ m (m)
5	5,57	6,98
10	6,27	8,15
25	7,77	10,40
50	9,60	12,89
100	12,38	16,36

(Fonte: Trindade, 2010)

De acordo com os dados, será expectável a ocorrência de ondas com $H_{\max} = 7$ m para um período de retorno de apenas cinco anos. O conhecimento destes dados é de elevado interesse para a definição de medidas de mitigação da vulnerabilidade do sistema dunar à erosão e à ocorrência de galgamentos oceânicos uma vez que destaca a frequência e intensidade de ocorrência de fenómenos extremos potencialmente erosivos (Trindade, 2010).

A refração da ondulação predominante de NW, perpendicular à linha de costa, origina uma corrente costeira, a designada *corrente de deriva litoral* (Ramos-Pereira, 2001, 1992a, 1991) que

apresenta direcção dominante N-S na costa ocidental portuguesa. Diversos autores, tais como Ferreira *et al* (1989), Neves (2006) e Ramos-Pereira (2001, 1991), salientam a importância da corrente de deriva litoral na dinâmica dos sistemas litorais pois assegura a distribuição longilitoral dos sedimentos fornecidos pelos cursos de água e pela abrasão dos litorais a Norte. Andrade *et al* (2006) e Ferreira *et al* (1989) referem que a corrente de deriva litoral será responsável pelo transporte longilitoral de 1-2 000 000 m³/ano de sedimentos.

A influência das marés¹⁰, decorrentes dos mecanismos astronómicos, é também significativa na dinâmica do sistema dunar. A amplitude de maré condiciona a extensão e o período de exposição da faixa entre marés, como sugerem Carter (1988) e Ramos-Pereira (2001). Por ocasiões de baixamar viva a extensão da faixa entre marés é maior, podendo constituir uma fonte de sedimentos, quando secos, para mobilização eólica. Ao invés, por ocasiões de preiamar viva as ondas aproximam-se da praia alta, podendo promover erosão. A altura máxima e mínima da maré registada na estação maregráfica de Peniche, em 2010, foi 3,90 m (corresponderá à altura da maré em preiamar viva) e 0,20 m (corresponderá à altura da maré em baixamar viva) acima do zero hidrográfico, respectivamente. A amplitude de maré nestas ocasiões foi 3,70 m. Como se trata de um litoral baixo e arenoso a faixa entre marés pode atingir vários metros de extensão.

Na dinâmica marinha do sistema dunar acresce ainda a importância dos promontórios rochosos de Peniche e do Baleal e da plataforma continental adjacente porque, devido à sua morfologia, modificam as características das ondas no seu percurso de aproximação à linha de costa e condicionam o volume de sedimentos disponibilizados para o sistema praia-duna.

Os promontórios de Peniche e do Baleal constituem relevos rochosos proeminentes que actuam como obstáculos à livre propagação da ondulação, difracting-a e reduzindo a sua energia e capacidade de transporte, podendo estimular a acumulação de sedimentos na pré-praia. Ferreira *et al* (1989) e Ramos-Pereira (2001) asseguram que os diferentes mecanismos de deflecção da ondulação junto a estes relevos rochosos proeminentes estarão na origem da acumulação dos sedimentos que constituem os actuais tómbolos de Peniche e do Baleal.

A plataforma continental adjacente é caracterizada pela existência de uma profunda incisão, a escassos 35 km de distância a Norte dos tómbolos de Peniche e Baleal (Figura 3.11.). Esta incisão, denominada por Canhão submarino da Nazaré, tem a sua cabeceira a apenas 500 m da

¹⁰ O litoral português insere-se no domínio da mesomaré elevada (amplitude de maré compreendida entre 2-4 m) com um regime do tipo semi-diurno (dois máximos e dois mínimos) e um ciclo de maré completa-se em 12 horas e 25 minutos (Neves, 2006; Ramos-Pereira, 2001; Trindade, 2010). Caracteriza-se também pela alternância, aproximadamente quinzenal, entre marés mortas e marés vivas (Trindade, 2010).

linha de costa e prolonga-se por cerca de 227 km com uma direcção predominante E-W terminando na planície abissal onde atinge a profundidade de 5 000 m (Ramos-Pereira, 1992b, 1991). Este obstáculo natural na plataforma continental tem grande influência no trânsito longilitoral de sedimentos, como referem Ferreira *et al* (1989), Neves (2006) e Ramos-Pereira (1992b), uma vez que por deflecção das ondas e efeito de drenagem, captura grande parte dos sedimentos em circulação reduzindo o trânsito de sedimentos nas correntes marítimas.

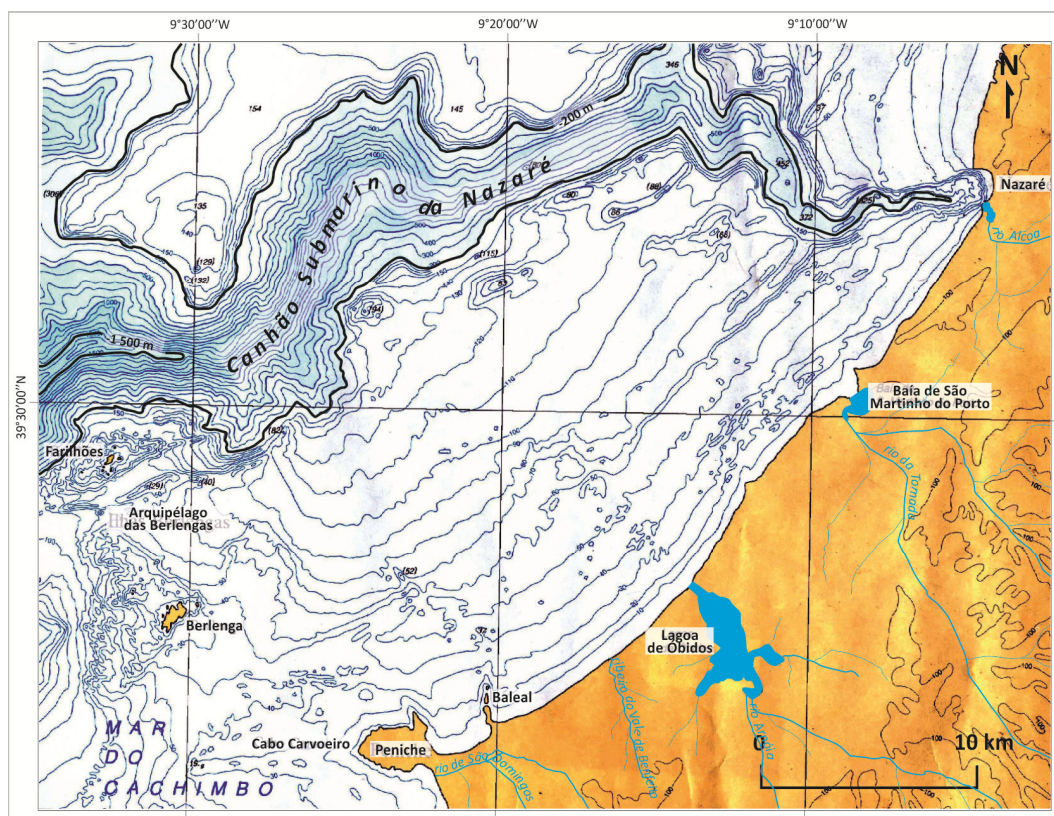


Figura 3.11. Incisão do Canhão submarino da Nazaré na plataforma continental (Base Cartográfica: Carta Batimétrica do Canhão da Nazaré).

Assim, uma parte significativa dos sedimentos provenientes de Norte, transportados pela mencionada corrente de deriva litoral, será captura na cabeceira do Canhão submarino da Nazaré e canalizada para a planície abissal condicionando o volume de sedimentos na plataforma continental imediatamente a Sul. Possivelmente o afluxo de sedimentos ao litoral transportado pelo rio Alcoa ficará também reduzido uma vez que a sua desembocadura localiza-se na proximidade da cabeceira do Canhão submarino da Nazaré.

van Weering *et al* (2002 in Trindade, 2010) sugere que a taxa de sedimentação máxima do Canhão submarino da Nazaré ronda $9\,623,1\text{ g/m}^2/\text{ano}$, valor justificado pela proximidade da sua cabeceira à linha de costa.

As considerações sobre a dinâmica marinha na região de Peniche permitem concluir que:

- (i) a ocorrência de ondas de tempestade com picos de H_{\max} na ordem de 10-15 m, facilmente galgam a praia alta e atingem a frente dunar do sistema de Peniche-Baleal formando micro-arribas de erosão, como foi observado nos levantamentos de campo, na Primavera de 2008 (Fotos 3.3. A e B);
- (ii) em situações de hidrodinâmica mais moderada, principalmente durante os meses de Verão, é possível que os mecanismos de deflecção da onda favoreçam a acumulação de sedimentos na plataforma continental, disponibilizando-os, posteriormente, para a praia e sistema dunar;
- (iii) os promontórios de Peniche e do Baleal poderão estimular a acumulação de sedimentos na pré-praia por difracção da ondulação, contribuindo para o balanço sedimentar do sistema;
- (iv) os sedimentos em trânsito no troço litoral serão escassos e dependentes do transporte fluvial dos pequenos cursos de água uma vez que o Canhão submarino da Nazaré condiciona a afluência de sedimentos fornecido aos sistemas litorais localizados imediatamente a Sul.



Fotos 3.3. Erosão marinha da frente dunar por ocasião de tempestade (Março de 2008). Galgamento oceânico da duna frontal (A); Micro-arriba de erosão na duna frontal (B). Localização das fotos na Figura 3.12.

A realidade será porventura mais complexa, mas estes são os traços gerais.

3.5. OS SEDIMENTOS DA FRENTE DUNAR

Os sistemas dunares litorais são essencialmente constituídos por areia, com composição variável mas, geralmente, constituídas por grãos de quartzo, podendo incluir outros minerais (exemplo de feldspato, calcite, micas, minerais pesados), dependendo da rocha que lhes deu origem e do grau de meteorização que sofreram (Botelho da Costa, 1998; LNEG; Pye & Tsoar, 2009).

Segundo a divisão de classes proposta por Friedman & Sanders (1978), os grãos de areia apresentam dimensões que variam entre $-1,0 \phi$ e $4,0 \phi$ (2,0 mm e 0,062 mm). Assim classificados, estes sedimentos recebem a seguinte designação (Quadro 3.3.):

Quadro 3.3. Terminologia utilizada na classificação da dimensão dos grãos de areia.

DIMENSÃO		DESIGNAÇÃO
ϕ	mm	
-1,0 – 0,0	2,0 – 1,0	areia muito grosseira
0,0 – 1,0	1,0 – 0,5	areia grosseira
1,0 – 2,0	0,5 – 0,25	areia média
2,0 – 3,0	0,25 – 0,125	areia fina
3,0 – 4,0	0,125 – 0,062	areia muito fina

(Fonte: Friedman & Sanders, 1978)

Como foi referido no segundo capítulo desta dissertação, a recolha das amostras de sedimentos presentes na frente dunar coincidiu com a localização dos perfis topográficos e, adicionalmente, em dois locais nos extremos ocidental e oriental do sistema dunar e em dois locais próximos de P4 e P6, onde existiam indícios recentes de ocorrência de galgamento oceânico (Figura 3.12.).

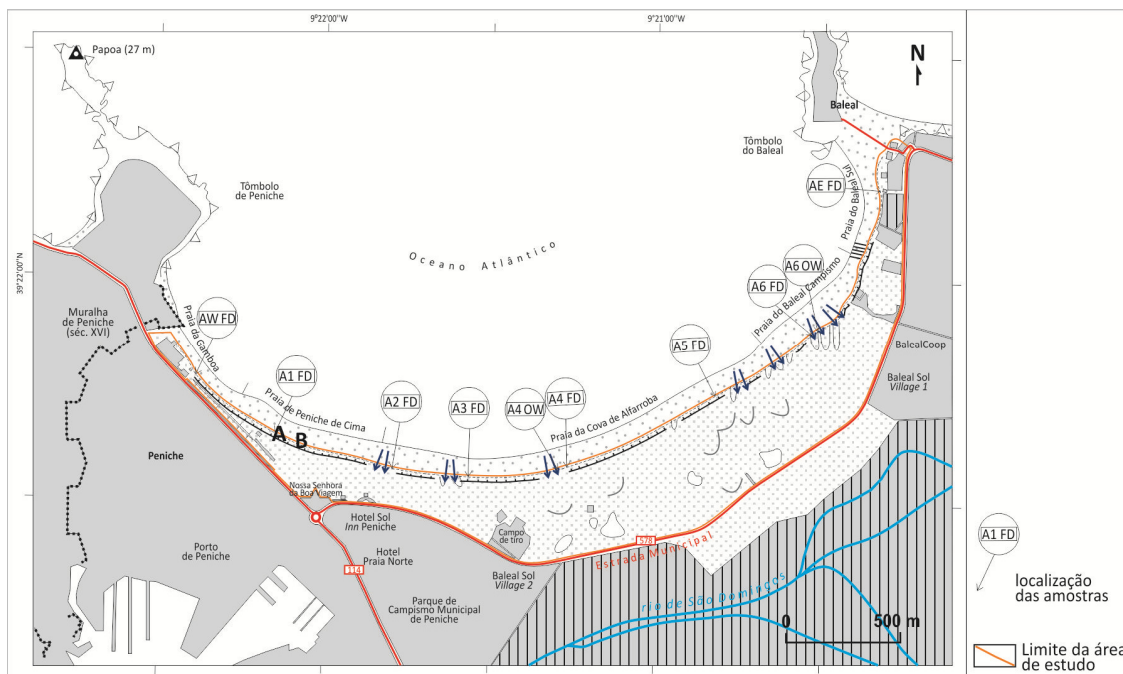


Figura 3.12. Localização das amostras de sedimentos recolhidos na frente dunar. As letras são indicativas da localização das Fotos 3.3. (Base cartográfica: Ortofotomapa 2005).

O tratamento sedimentológico das mesmas visou: (i) caracterizar os sedimentos que constituem a duna frontal, obtendo uma referência quanto à sua dimensão; (ii) preencher um dos parâmetros da *checklist* 1 – lista de controlo de vulnerabilidade dunar; (iii) confirmar, através da assinatura sedimentológica, a ocorrência de galgamentos oceânicos.

Os valores obtidos pelo cálculo de diferentes parâmetros granulométricos – média (x), desvio-padrão (δ), assimetria (Sk), curtose (K_G) – permitem entender a distribuição dos sedimentos nas diferentes classes de dimensão e deduzir as implicações destes dados na

identificação do agente responsável pelo transporte dos sedimentos, como mencionam Folk & Ward (1957) e Friedman & Sanders (1978).

A distribuição dos sedimentos é, em sete de um total de dez amostras, unimodal, indicando que nestas existe predomínio de apenas uma classe de dimensão dos sedimentos. As amostras A2 FD, A4 OW e A6 OW são a exceção, apresentando comportamento bimodal. Veja-se, na Figura 3.13., os histogramas das granulometrias que ilustram o mencionado comportamento. Estes dados, ainda que escassos, revelam à partida dois conjuntos de sedimentos depositados por agentes de transporte distintos.

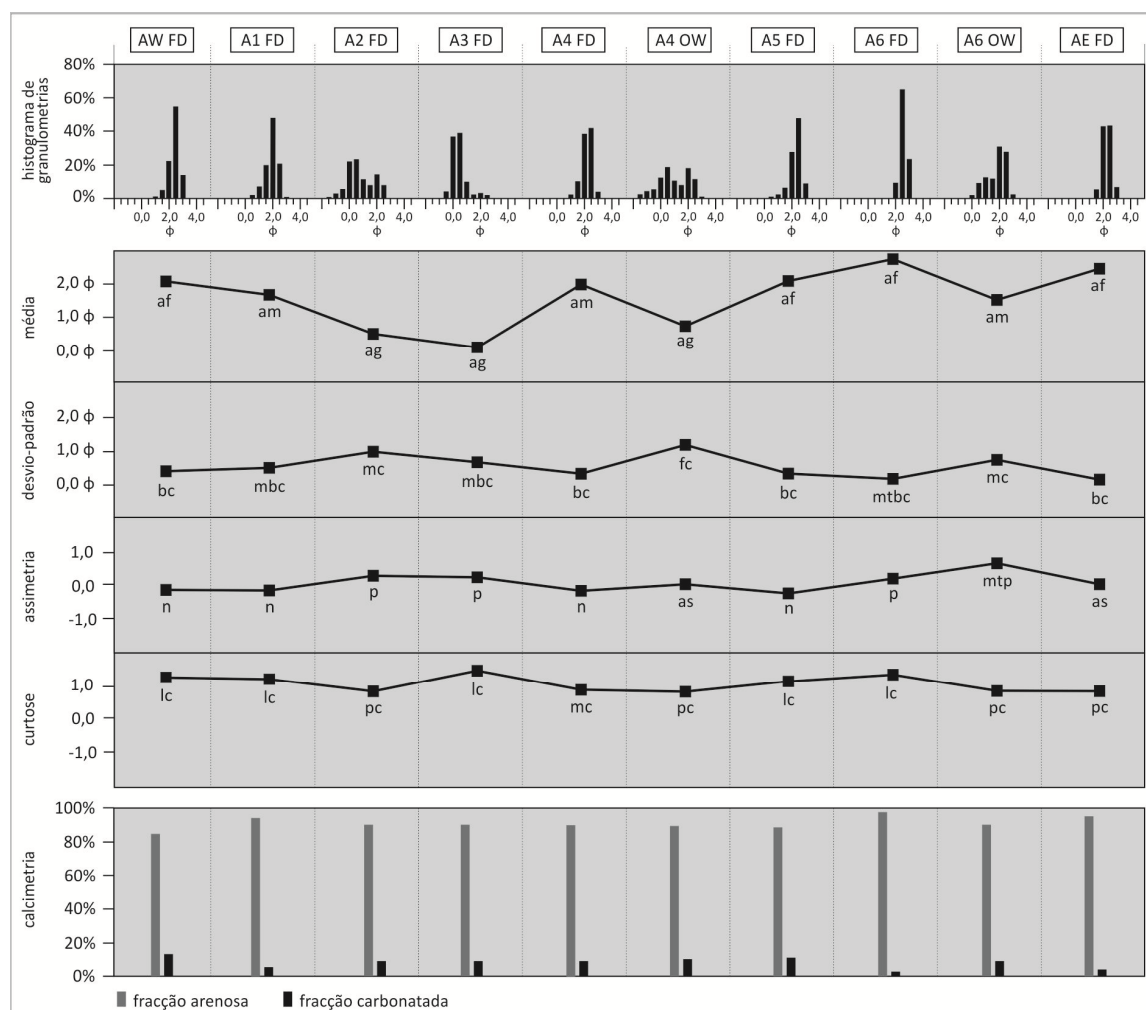


Figura 3.13. Histogramas de granulometrias, média (\bar{x}), desvio-padrão (δ), assimetria (Sk), curtose (K_G) e calcimetria dos sedimentos recolhidos na frente dunar. af: areia fina; am: areia média; ag: areia grosseiras; bc: bem calibradas; mbc: moderadamente bem calibradas; mc: moderadamente calibradas; fc: fracamente calibradas; mtbc: muito bem calibradas; n: negativa; p: positiva; mtp: muito positiva; as: aproximadamente simétrica; lc: leptocúrtica; pc: platicúrtica; mc: mesocúrtica.

A \bar{x} , parâmetro indicativo dos valores que mais se concentram na distribuição granulométrica (Folk & Ward, 1957; Friedman & Sanders, 1978; Pye & Tsoar, 2009), possui valores compreendidos entre 2,0 ϕ e 2,33 ϕ (0,25 mm e 0,19 mm) para as amostras AW FD, A5 FD,

A6 FD e AE FD (Figura 3.13.). Sedimentos desta dimensão recebem a designação de areia fina. As amostras A1 FD, A4 FD e A6 OW, com valores de x a variar entre $1,5 \phi$ e $1,95 \phi$ ($0,35 \text{ mm}$ e $0,26 \text{ mm}$), são classificados de areias médias. A dimensão média dos sedimentos das amostras A2 FD, A3 FD e A4 OW é $\leq 0,75 \phi$ ($\leq 0,59 \text{ mm}$). Trata-se de sedimentos com maior dimensão, classificados como areias grosseiras.

No conjunto das amostras, A6 FD e A3 FD possuem, respectivamente, os sedimentos mais finos ($x=2,33 \phi - 0,19 \text{ mm}$) e mais grosseiros ($x=0,12 \phi - 0,92 \text{ mm}$). As areias mais finas sugerem que se trata de sedimentos eólicos, enquanto as grosseiras testemunharão outro agente, menos selectivo do que o vento. Com efeito, Pye & Tsoar (2009) expressam que a dimensão característica dos sedimentos eólicos que constituem as dunas litorais varia entre $2,0 \phi$ e $4,0 \phi$ ($0,25 \text{ mm}$ e $0,063 \text{ mm}$).

O δ traduz a calibragem dos sedimentos, expressando a maior ou menor concentração das partículas em torno da média (Folk & Ward, 1957; Friedman & Sanders, 1978; Pye & Tsoar, 2009). De acordo com estes autores, a calibragem dos sedimentos varia entre mal calibrado e muito bem calibrado (Quadro 3.4.).

Quadro 3.4. Terminologia utilizada na classificação dos parâmetros granulométricos de desvio-padrão (δ), assimetria (Sk) e curtose (K_G).

$\delta (\phi)$		Sk (adimensional)		K_G (adimensional)	
VALOR	DESIGNAÇÃO	VALOR	DESIGNAÇÃO	VALOR	DESIGNAÇÃO
<0,35	muito bem calibrado	-1,00 – -0,30	muito negativa	<0,67	muito platicúrtica
0,35 – 0,50	bem calibrado	-0,30 – -0,10	negativa	0,67 – 0,90	platicúrtica
0,50 – 0,70	moderadamente bem calibrado	-0,10 – 0,10	aproximadamente simétrica	0,90 – 1,11	mesocúrtica
0,70 – 1,00	moderadamente calibrado	0,10 – 0,30	positiva	1,11 – 1,50	leptocúrtica
1,00 – 2,00	fracamente calibrado	0,30 – 1,00	muito positiva	1,50 – 3,00	muito leptocúrtica
2,00 – 4,00	mal calibrado				

(Fonte: Pye & Tsoar, 2009)

No conjunto das amostras, o valor de δ é mais elevado em A4 OW ($1,14 \phi - 0,45 \text{ mm}$), indicando que são sedimentos fracamente calibrados (Figura 3.13.). Ao invés, em A6 FD, o reduzido valor de δ ($0,34 \phi - 0,79 \text{ mm}$) indica que são sedimentos muito bem calibrados. As amostras AW FD, A4 FD, A5 FD e AE FD com valores de δ compreendidos entre $0,37 \phi$ e $0,45 \phi$ ($0,73 \text{ mm}$ e $0,77 \text{ mm}$) são consideradas bem calibradas. As restantes amostras possuem calibragem menos afinada e os sedimentos variam entre moderadamente bem calibrados (A1 FD e A3 FD) e moderadamente calibrados (A2 FD e A6 OW).

A relação entre x e δ , ilustrada pelo gráfico de dispersão (Figura 3.14.), permite identificar três conjuntos distintos de amostras: (i) um conjunto de amostras que possui sedimentos finos bem calibrados (AW FD, A4 FD, A5 FD, A6 FD e AE FD); (ii) um conjunto de amostras com sedimentos

ligeiramente mais grosseiros e menos calibrados (A1 FD e A6 OW); (iii) um conjunto de amostras com sedimentos grosseiros mal calibrados (A2 FD, A3 FD e A4 OW).

O primeiro conjunto dirá respeito a sedimentos depositados por um único agente de transporte, muito selectivo, o vento. Os restantes, com sedimentos mais grosseiros e calibragem menos afinada serão correlativas da acção de um ou dois agentes de transporte.

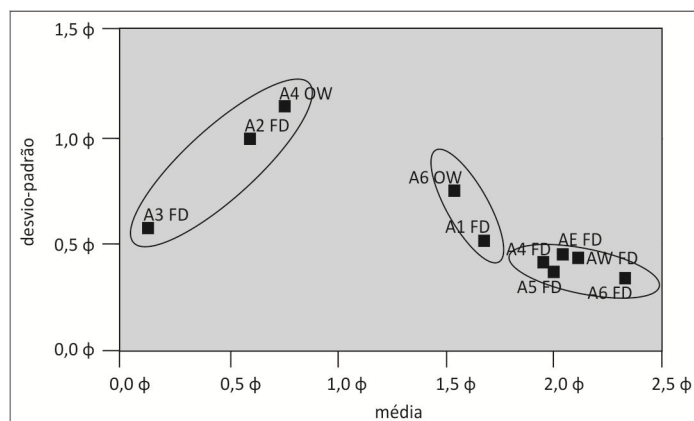


Figura 3.14. Gráfico de dispersão dos sedimentos recolhidos na frente dunar que estabelece a relação entre a média (\bar{x}) e o desvio-padrão (δ).

A análise da assimetria (Sk) e curtose (K_G) permitirá apurar com mais rigor as características da população residual da distribuição granulométrica dos sedimentos.

A Sk da curva de distribuição traduz o enriquecimento em sedimento grosseiros ou finos, respectivamente, consoante a cauda da curva tende para a esquerda ou para a direita, de acordo com Folk & Ward (1957), Friedman & Sanders (1978) e Pye & Tsoar (2009). Varia entre muito negativa e muito positiva (reveja-se o Quadro 3.4.).

A K_G traduz o achatamento da curva de distribuição em relação à distribuição normal (Folk & Ward, 1957; Friedman & Sanders, 1978; Pye & Tsoar, 2009). Varia entre muito platicúrtica e muito leptocúrtica (Quadro 3.4.). Quando K_G é mesocúrtica, indica que o achatamento da curva é similar ao de uma distribuição normal (curva gaussiana).

Os dados das amostras, apresentados na Figura 3.13. e sintetizados no Quadro 3.5., reconhecem as características da população central e da população residual da distribuição granulométrica dos sedimentos. Estas características facilitam a compreensão do agente de transporte envolvido.

Quadro 3.5. Características da população central e da população residual dos sedimentos recolhidos na frente dunar.

	POPULAÇÃO CENTRAL		POPULAÇÃO RESIDUAL	
	x	δ	Sk	K_G
AW FD	areias finas	bem calibradas	enriquecimento em partículas grosseiras	menos calibradas
A1 FD	areias médias	moderadamente bem calibradas	enriquecimento em partículas grosseiras	menos calibradas
A2 FD	areias grosseiras	moderadamente calibradas	enriquecimento em partículas finas	mais calibradas
A3 FD	areias grosseiras	moderadamente bem calibradas	enriquecimento em partículas finas	mais calibradas
A4 FD	areias médias	bem calibradas	enriquecimento em partículas grosseiras	menos calibradas
A4 OW	areias grosseiras	fracamente calibradas	enriquecimento em partículas grosseiras	mais calibradas
A5 FD	areias finas	bem calibradas	enriquecimento em partículas grosseiras	menos calibradas
A6 FD	areias finas	muito bem calibradas	enriquecimento em partículas finas	mais calibradas
A6 OW	areias médias	moderadamente calibradas	enriquecimento em partículas finas	mais calibradas
AE FD	areias finas	bem calibradas	enriquecimento em partículas finas	mais calibradas

De acordo com as características apuradas, pensa-se que:

- (i) os sedimentos das amostras AW FD, A4 FD e A5 FD, com características da população residual tão díspares em relação à população central, terão sido depositados por dois agentes de transporte com selectividade distinta, o vento e o mar, com predominância para o transporte eólico uma vez que a população central possui sedimentos finos bem calibrados;
- (ii) as amostras A1 FD, A2 FD, A3 FD, e A6 OW, apresentam comportamento semelhante ao anteriormente descrito (população central e residual com características distintas), mas diferenciam-se por possuírem uma população central caracterizada por sedimentos mais grosseiros moderadamente calibrados, que sugere o predomínio do transporte marinho, menos selectivo;
- (iii) os sedimentos da amostra A4 OW serão indicativos de um único agente de transporte, pouco selectivo, o mar;
- (iv) os sedimentos das amostras A6 FD e AE FD serão indicativos de um único agente de transporte, muito selectivo, o vento.

O cálculo das curvas granulométricas de frequências acumulativas permitirá identificar relações entre a distribuição granulométrica e o agente de deposição dos sedimentos (Figura 3.15.).

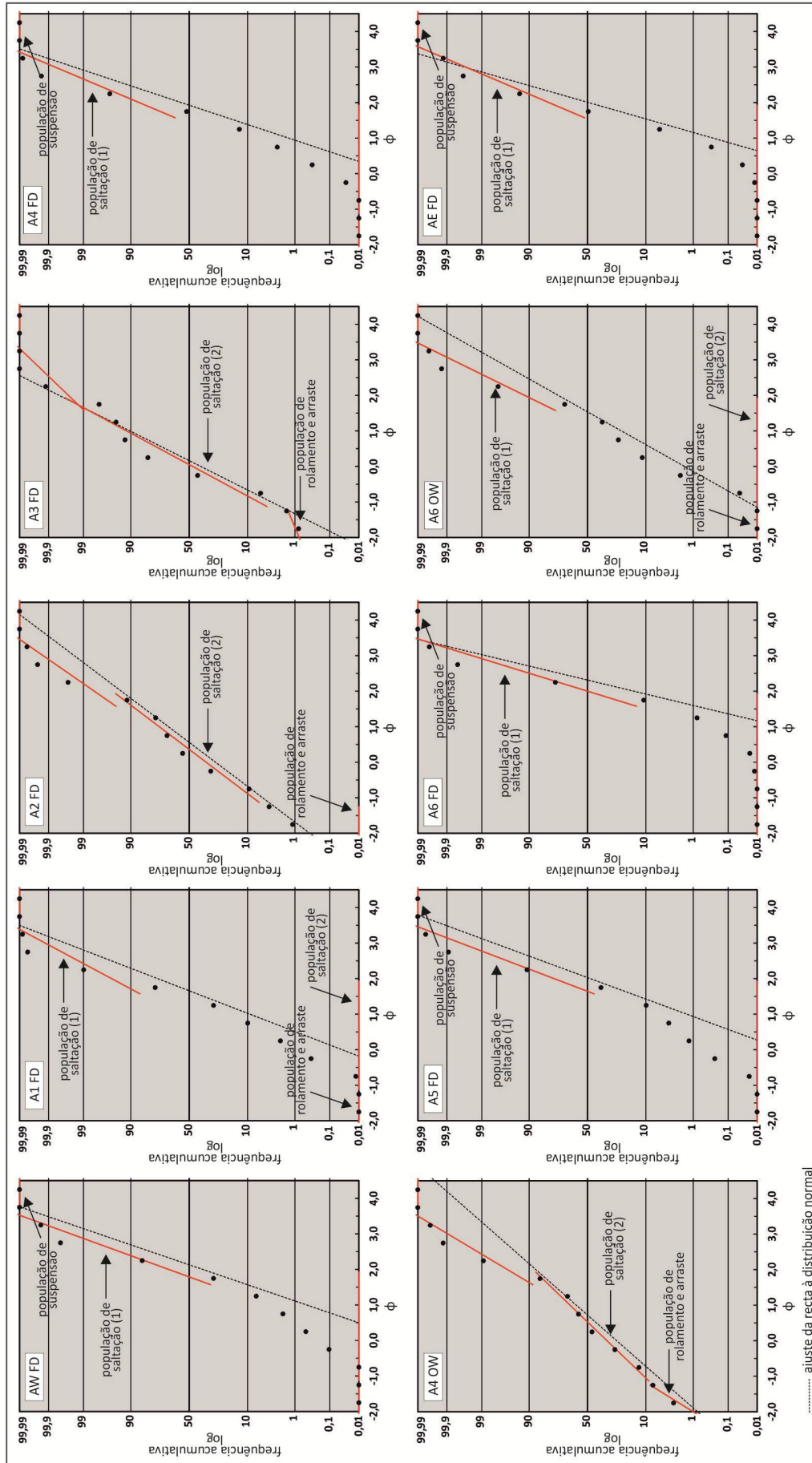


Figura 3.15. Curvas granulométricas de frequências cumulativas dos sedimentos recolhidos na frente dunar.

De acordo com o método proposto por Visser (1969), as curvas granulométricas de frequências acumulativas permitem reconhecer quatro rectas correspondentes a distintos processos de transporte dos sedimentos – rolamento e arraste, saltação e suspensão – em resultado da distinta dimensão dos sedimentos. O autor admite que a recta que agrupa os sedimentos grosseiros correspondem à população de rolamento e arraste, a recta que agrupa os sedimentos de dimensão média a fina à população de saltação (2) e (1), respectivamente, e a recta que agrupa os sedimentos finos à população de suspensão.

Veja-se na Figura 3.15. as curvas granulométricas correspondentes às amostras AW FD, A4 FD, A5 FD, A6 FD e AE FD. Nestas, os sedimentos de dimensão $\leq 1,5 \phi$, representados pela recta que corresponde à população de saltação (1), detêm mais peso na distribuição. A população de saltação (1) corresponde, segundo a interpretação de Visser (1969), a sedimentos finos depositados por um agente pouco energético. Das amostras referidas, a amostra A6 FD constitui o exemplo fundamental do comportamento de uma curva característica de sedimentos eólicos.

No conjunto das amostras, A2 FD, A3 FD e A4 OW possuem mais peso na fracção de sedimentos grosseiros, representados pelas rectas correspondentes à população de rolamento e arraste e população de saltação (2). Estes sedimentos mais grosseiros terão sido depositados por um agente muito energético. As amostras A1 FD e A6 OW, com sedimentos distribuídos pela população de saltação (2) e (1), sugerem deposição por dois agentes com capacidade de transporte distinta. Esta análise confirma o que já foi sendo referido relativamente à dimensão dos sedimentos e à competência e selectividades do agente de transporte.

A calcimetria permitiu aferir o peso da fracção carbonata nas amostras (veja-se a Figura 3.13.). Verifica-se que o peso da fracção carbonatada é máximo na amostra AW FD (13,6%). Em A2 FD, A3 FD, A4 FD, A4 OW, A5 FD e A6 OW o peso da fracção carbonatada aproxima-se de 10%. Nas restantes amostras o peso da fracção carbonata é <8%, registando-se o valor mínimo de 3,66% em A6 FD.

O teor em carbonatos (proveniente de fragmentos de material biogénico e calcário) pode também ser um indicador do agente de transporte, pois sedimentos com maior teor em carbonatos poderão ser encontrados na frente dunar se forem mobilizados da pré-praia pelo mar. Contudo, os fragmentos biogénicos (exo e endoesqueletos de animais), possuindo uma dinâmica eólica muito particular, podem também ser mobilizados pelo vento. Os dados apurados não são conclusivos quanto à possível indicação de um agente de transporte dos sedimentos pois existe uma grande disparidade de valores nas amostras. Porém, é possível constatar que as amostras A6 FD e AE FD, com características granulométricas típicas de

sedimentos eólicos, possuem, efectivamente, no conjunto das amostras, os valores mais reduzidos de CaCO_3

Os resultados obtidos da realização do tratamento sedimentológico das amostras recolhidas na frente dunar, embora escassos mas significantes por representarem a variabilidade espacial da frente dunar do sistema dunar de Peniche-Baleal, permitem reconhecer que:

- (i) a frente dunar do sistema estará sujeita à acção marinha;
- (ii) a assinatura sedimentológica da amostra A4 OW confirma que os sedimentos grosseiros e fracamente calibrados terão sido depositados por acção do mar, por ocasião de galgamento oceânico;
- (iii) os sedimentos das amostras AW FD, A1 FD, A2 FD, A3 FD, A4 FD, A5 FD e A6 OW terão sido depositados na frente dunar por acção conjunta do mar e vento;
- (iv) os sedimentos das amostras A6 FD e AE FD possuem, nitidamente, uma assinatura sedimentológica características de sedimentos eólicos.

3.6. A VEGETAÇÃO DUNAR

A vegetação dunar é apontada por muitos autores, tais como Bird (2008), Carter (1988), Costa (2001), Davies & Fitzgerald (2004), Goudie (2003), Hesp (2004, 2002), Maun (2009), Neto (1993), Ranwell (1972), Ramos-Pereira (2008b, 2001, 1987) e Viles & Spencer (1995), como essencial para a evolução dos sistemas dunares porque (i) constitui um obstáculo ao livre-trânsito dos sedimentos eólicos, permitindo a sua deposição; (ii) favorece a estabilização da duna, fixando e agregando os sedimentos não consolidados com o seu sistema radicular.

O litoral é um ambiente específico para a vegetação devido à influência de diversas condicionantes ecológicas: (i) a instabilidade dos sedimentos; (ii) a acção mecânica do vento e oceano; (iii) a salinidade do solo e do ar; (iv) a deficiente disponibilidade de água e nutrientes (Carter, 1988; Costa, 2001; Maun, 2009; Neto 1993; Ranwell, 1972). Costa (2001) refere que a vegetação dunar sobrevive a tais condições porque desenvolveu diversas adaptações morfológicas, exemplo de sistema radicular longo e enterrado, folha de dimensão reduzida (microfilia), porte aéreo reduzido, revestimento piloso dos órgãos, produção de resinas para reduzir a transpiração.

Em resultado da estabilização dos sedimentos, da diminuição do gradiente de salinidade e do aumento de nutrientes no solo, do litoral para o interior, as plantas apresentam maior complexidade, diversidade e abundância, como mencionam Carter (1988), García-Mora *et al* (2000), Lomba *et al* (2008), Maun (2009), Neto (1993) e Ranwell (1972). Este é o princípio básico

da sucessão geo-ecológica¹¹ característica dos sistemas dunares, que relaciona padrões morfológicos – morfodinâmica – com a presença de determinadas espécies de vegetação dunar.

No território português, num sistema dunar bem preservado, com balanço sedimentar positivo, é possível identificar quatro ecossistemas ou tipos morfo-ecológicos distintos de duna (Figura 3.16.):

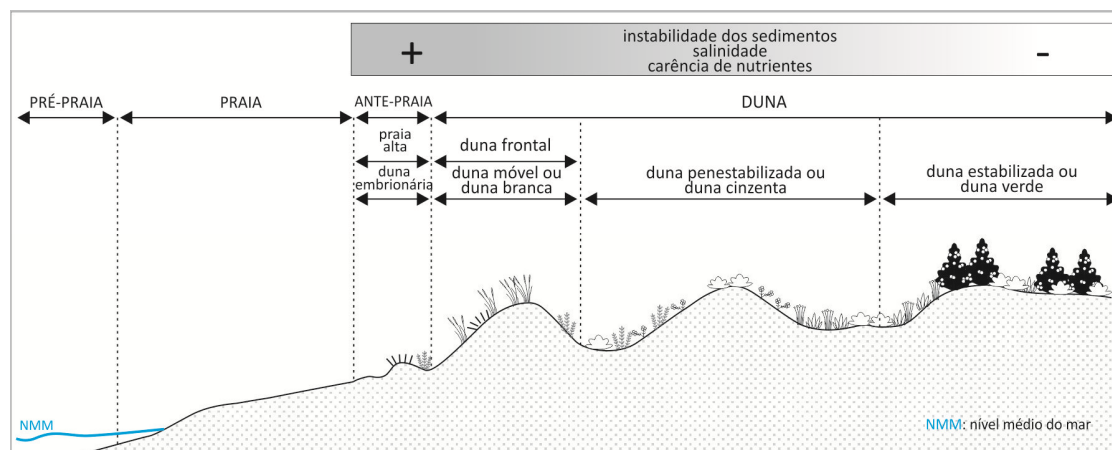


Figura 3.16. Sucessão geo-ecológica de sistemas dunares litorais (Adaptado de Moreira, 1984).

(i) duna embrionária, também designada por *nebkha* (Goudie, 2003; Hesp, 2004, 2002; Neto, 1993) corresponde a pequenas acumulações de sedimentos que se formam no limite interior da praia alta, acima do nível do mar em preiamar viva, onde a ondulação e as marés depositam detritos orgânicos que fornecem abrigo e nutrientes necessários para o crescimento de algumas plantas pioneiras herbáceas, onde a espécie dominante é o *Elymus farctus*, vulgo, feno-das-areias (Costa, 2001);

(ii) duna móvel ou duna branca é, de acordo com a opinião expressa por Hesp (2002), equivalente à duna frontal; é caracterizada pela elevada instabilidade dos sedimentos e reduzida colonização vegetal; a espécie *Ammophila arenaria* (vulgo, estorno) é dominante, instalando-se principalmente nas cristas da duna frontal (Costa, 2001);

(iii) duna penestabilizada ou duna cinzenta corresponde a áreas imediatamente a sotavento da duna frontal, onde a areia movimenta-se apenas em pequenos corredores de deflecção, sem migração das cristas (Moreira, 1984); está parcialmente coberta por vegetação subarbusciva, com predomínio para as espécies *Artemisia crithmifolia* (vulgo, madorneira), *Crucianella marítima* (vulgo, granza-da-praia), *Helichrysum italicum* ssp. *picardii* (vulgo, perpétua-das-areias), *Malcolmia littorea* (vulgo, goivo-da-praia), *Otanthus maritimus* (vulgo,

¹¹Refere-se ao processo natural de substituição progressiva das comunidades de plantas pioneiras por comunidades de plantas mais complexas e evoluídas, que ocorre em resultado de mudanças dos factores bióticos e abióticos do ecossistema (Maun, 2009).

cordeirinho-da-praia), *Pancratium maritimum* (vulgo, narciso-das-areias), entre outras, que podem ser observadas em quase todas as dunas portuguesas (Costa, 2001);

(iv) duna estabilizada ou duna verde corresponde a áreas interiores do sistema dunar onde os sedimentos estão completamente estabilizados pela elevada presença de vegetação com porte arbustivo ou arbóreo; domina a espécie *Juniperus turbinata* (vulgo, zimbro-das-areias) que, segundo Costa (2001), pode ser observada a Sul do rio Mondego e representa a etapa mais evoluída dos sistemas dunares mediterrânicos.

Muito interessante é também a relação que Carter (1988) e Short & Hesp (1982 in Hesp, 2002) estabeleceram entre a morfologia da duna frontal e a vegetação dunar, resultando numa proposta de classificação morfodinâmica da duna frontal com base na taxa de cobertura da vegetação dunar (Figura 3.17.). Os autores verificaram que em sistemas dunares com elevada taxa de cobertura da vegetação (90% a 100%), a morfologia da duna frontal tende a ser bem definida e preservada, geralmente caracterizada por algumas dunas transversais. A diminuição da taxa de cobertura da vegetação corresponde a um agravamento da degradação e fragmentação da morfologia da duna frontal.

A vegetação, como foi mencionado, tem um papel fundamental na evolução geomorfológica dos sistemas dunares. O estudo da vegetação dunar pode fornecer valiosas informações sobre o estado de conservação e vulnerabilidade do sistema dunar.

Neste ponto da dissertação pretende-se fazer uma breve caracterização geo-ecológica do sistema dunar, reconhecendo a diversidade da vegetação dunar e identificando os tipos morfo-ecológicos de duna.

No sistema dunar de Peniche-Baleal, as dunas embrionárias são incipientes ou ausentes. Este facto poderá ser justificado pela degradação precoce destas formas, por acção da erosão marinha e/ou da acção antrópica.

A duna branca apresenta, geralmente, uma morfologia fragmentada, moldada em cristas em forma de cúpula devido à presença de brechas e *blowouts*, morfologia que corresponde à classificação de Carter (1988) e Short & Hesp (1982 in Hesp, 2002) tipificada pela Figura 3.17. C.

A duna branca está colonizada por tufo de vegetação descontínua onde predomina a espécie pioneira *Ammophila arenaria*, muito importante na retenção e fixação de sedimentos eólicos (Fotos 3.4. A). Esta espécie é considerada, por diversos autores tais como Carter (1988), Maun (2009) e Ranwell (1972), a planta por excelência “construtora” de dunas.

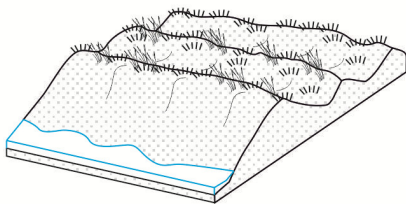
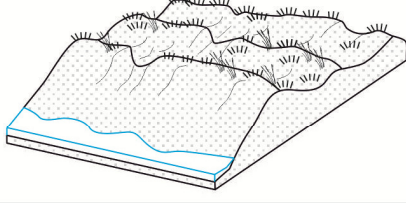
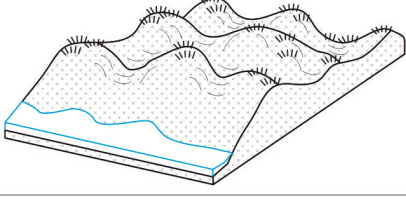
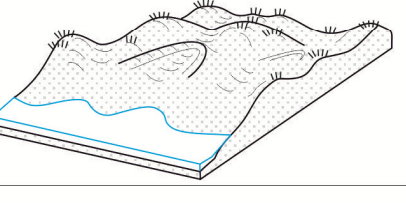
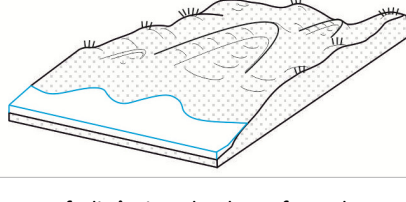
A 	taxa de cobertura da vegetação: 90%-100% morfologia dunar: bem definida e preservada; dunas transversais. dinâmica sedimentar: acumulação na praia alta.
B 	taxa de cobertura da vegetação: 75%-90% morfologia dunar: descontínua; <i>blowouts</i> incipientes. dinâmica sedimentar: acumulação na crista da duna.
C 	taxa de cobertura da vegetação: 45%-75% morfologia dunar: fragmentada; cristas em forma de cúpula. dinâmica sedimentar: acumulação na vertente sotavento.
D 	taxa de cobertura da vegetação: 20%-45% morfologia dunar: fragmentada; diversos <i>blowouts</i> . dinâmica sedimentar: deslizamentos na vertente sotavento.
E 	taxa de cobertura da vegetação: 0%-20% morfologia dunar: muito fragmentada; dunas parabólicas; <i>blowouts</i> transversais. dinâmica sedimentar: acumulação residual.

Figura 3.17. Classificação morfodinâmica da duna frontal com base na taxa de cobertura da vegetação dunar (Adaptado de Carter, 1988).

De acordo com os mencionados autores, a parte aérea da planta constitui um obstáculo ao livre-trânsito dos sedimentos eólicos, acumulando-os, e o seu sistema radicular, composto por raiz e rizoma, permite a propagação vertical e horizontal da planta, aglomerando os sedimentos e estabilizando-os. As plantas desenvolvem-se rapidamente, mesmo quando soterradas temporariamente, e as raízes podem atingir 5 m de profundidade. Investigação preliminar realizada por Olson (1958 *in* Maun, 2009) revela que o efeito de rugosidade em areias colonizada por *Ammophila* chega a ser 30 vezes superior em relação a areias sem vegetação.

A barlavento da duna branca é possível observar outra espécie pioneira, o *Elymus farctus* (Fotos 3.4. B), que detém igualmente um importante papel na retenção de sedimentos.

A duna cinzenta, que sucede a duna branca, apresenta grande diversidade e abundância de vegetação dunar. Aqui foram observadas mais de uma dezena de espécies distintas, exemplo de *Artemisia crithmifolia*, *Crucianella marítima*, *Eryngium maritimum* (vulgo, cardo-marítimo), *Euphorbia paralias* (vulgo, morganheira-das-praias), *Helichrysum italicum* ssp. *picardii*, *Malcolmia littorea*, *Ononis natrix* ssp. *ramosissima* (vulgo, jóina-dos-matos), *Otanthus maritimus*, *Pancratium maritimum*, entre outras. As Fotos 3.4. C, D, E e F ilustram algumas destas espécies.

A duna verde, que sucede a duna cinzenta, é caracterizada pela presença descontínua, em pequenos núcleos, de uma formação arbustiva, por vezes alta e densa, de *Juniperus turbinata* localizados no limite interior do sistema dunar, junto à Estrada Municipal Nº 578 (Fotos 3.4. G). Esta espécie é acompanhada de outras como o *Antirrhinum majus* (vulgo, boca-de-lobo) e a *Rubia peregrina* (vulgo, granza-brava).

Em toda a extensão do sistema dunar, nos vários tipos morfo-ecológicos de duna, é notória a presença de chorão-da-praia, cujo nome científico é *Carpobrotus edulis* (Fotos 3.4. H).

Esta planta exótica de origem sul-africana, disseminada por todo o litoral português (e mundial!), possui estatuto legal de planta invasora em Portugal (instituído pelo Decreto-Lei nº 565/99 de 21 de Dezembro) e constitui uma ameaça à biodiversidade dos sistemas dunares, como menciona Costa (2001). Devido ao seu vigoroso crescimento, em manchas impenetráveis, e à sua capacidade de acidificar o solo para seu próprio proveito, compete activamente com as espécies autóctones substituindo-as e impedindo o seu correcto desenvolvimento (Costa, 2001; ICNB).

Importa ainda referir a presença, na duna cinzenta e duna verde, de duas importantes espécies endémicas lusitanas a *Armeria welwitschii* (vulgo, erva-divina) e o *Verbascum litigiosum* (vulgo, verbasco-de-flores-grossas), ilustradas nas Fotos 3.4. I e J. Ambas as espécies possuem estatuto legal de protecção em Portugal (instituído pelo Decreto-Lei nº 140/99 de 24 de Abril, anexos B-II b e B-IV b) e estão incluídas na Rede Natura 2000 (Directiva do Conselho 92/43/CEE de 21 de Maio – Directiva *Habitats*, anexos II b e IV b).

A vegetação dunar do sistema de Peniche-Baleal está, de um modo geral, bem preservada e a sua importância é tão significativa que, para efeitos de conservação da natureza e biodiversidade, a Rede Natura 2000 distinguiu o Sítio de Importância Comunitária (SIC) Peniche/Santa Cruz PTCO0056 (Resolução do Conselho de Ministros nº 76/00 de 5 de Julho).



Fotos 3.4. Exemplos de espécies de vegetação dunar presentes nos distintos tipos morfo-ecológicos de duna identificados no sistema dunar de Peniche-Baleal. Duna branca (A, B, C e H); Duna cinzenta (D, E, F, H, I e J); Duna verde (G, H, I e J).

Este documento classifica cinco *habitats* com diversidade florística muito relevante:

- (i) dunas móveis embrionárias (*habitat* 2110);
- (ii) dunas brancas com *Ammophila arenaria* (*habitat* 2120);
- (iii) dunas cinzentas com vegetação herbácea dominada por *Armeria welwitschii* (*habitat* 2130);
- (iv) depressões húmidas interdunares (*habitat* 2190);
- (v) dunas litorais com *Junipeus ssp.* (*habitat* 2250).

Destes, são *habitats* prioritários as dunas cinzentas com vegetação herbácea dominada por *Armeria welwitschii* e as dunas litorais com *Junipeus ssp.*

Adicionalmente, os seis perfis geo-ecológicos, realizados na Primavera de 2008 em diferentes troços do sistema dunar (reveja-se a Figura 3.6. que localiza dos perfis topográficos, coincidentes com os perfis geo-ecológicos, como foi referido no segundo capítulo desta dissertação), contribuíram para determinar extensão dos tipos morfo-ecológicos de duna e o número de espécies de vegetação dunar presentes nos diversos troços considerados (Figura 3.18.).

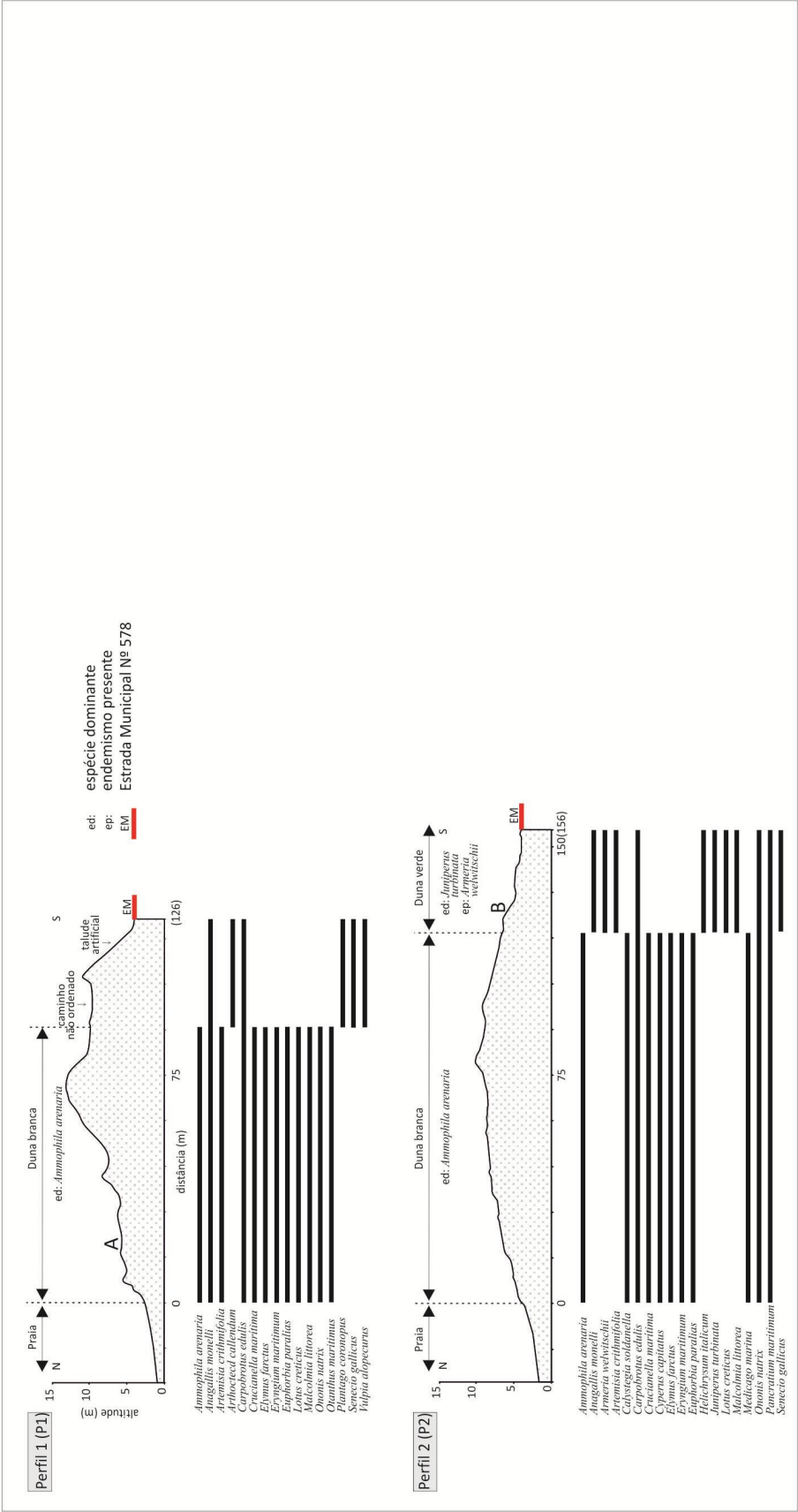


Figura 3.18. Perfis geo-ecológicos do sistema dunar de Peniche-Baleal (Primavera de 2008). As letras nos perfis são indicativas da localização das Fotos 3.5.

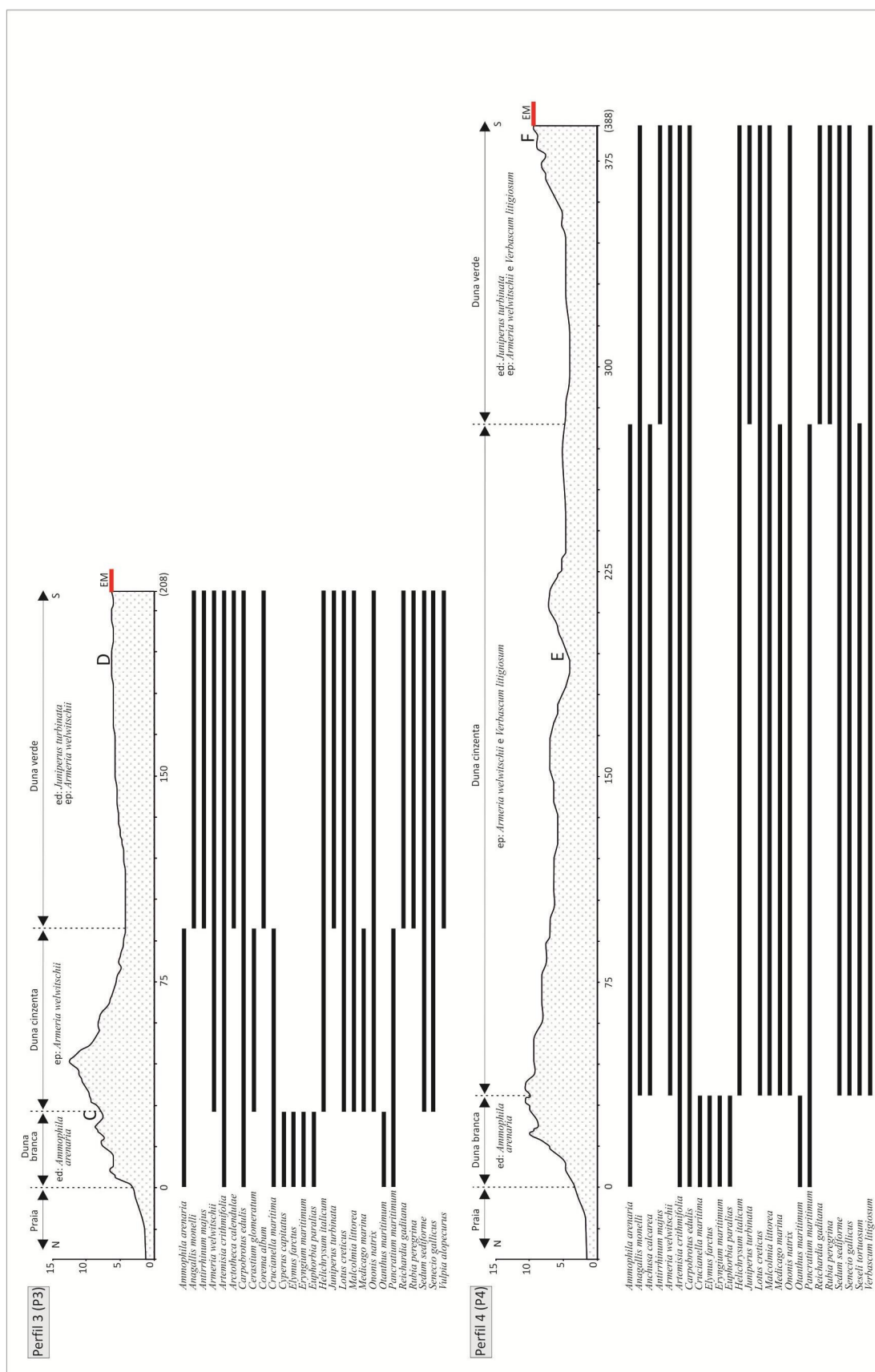


Figura 3.18. Perfis geo-ecológicos do sistema dunar de Peniche-Baleal (Primavera de 2008). As letras nos perfis são indicativas da localização das Fotos 3.5. (continuação).



Figura 3.18. Perfis geo-ecológicos do sistema dunar de Peniche-Baleal (Primavera de 2008). As letras nos perfis são indicativas da localização das Fotos 3.5. (continuação).

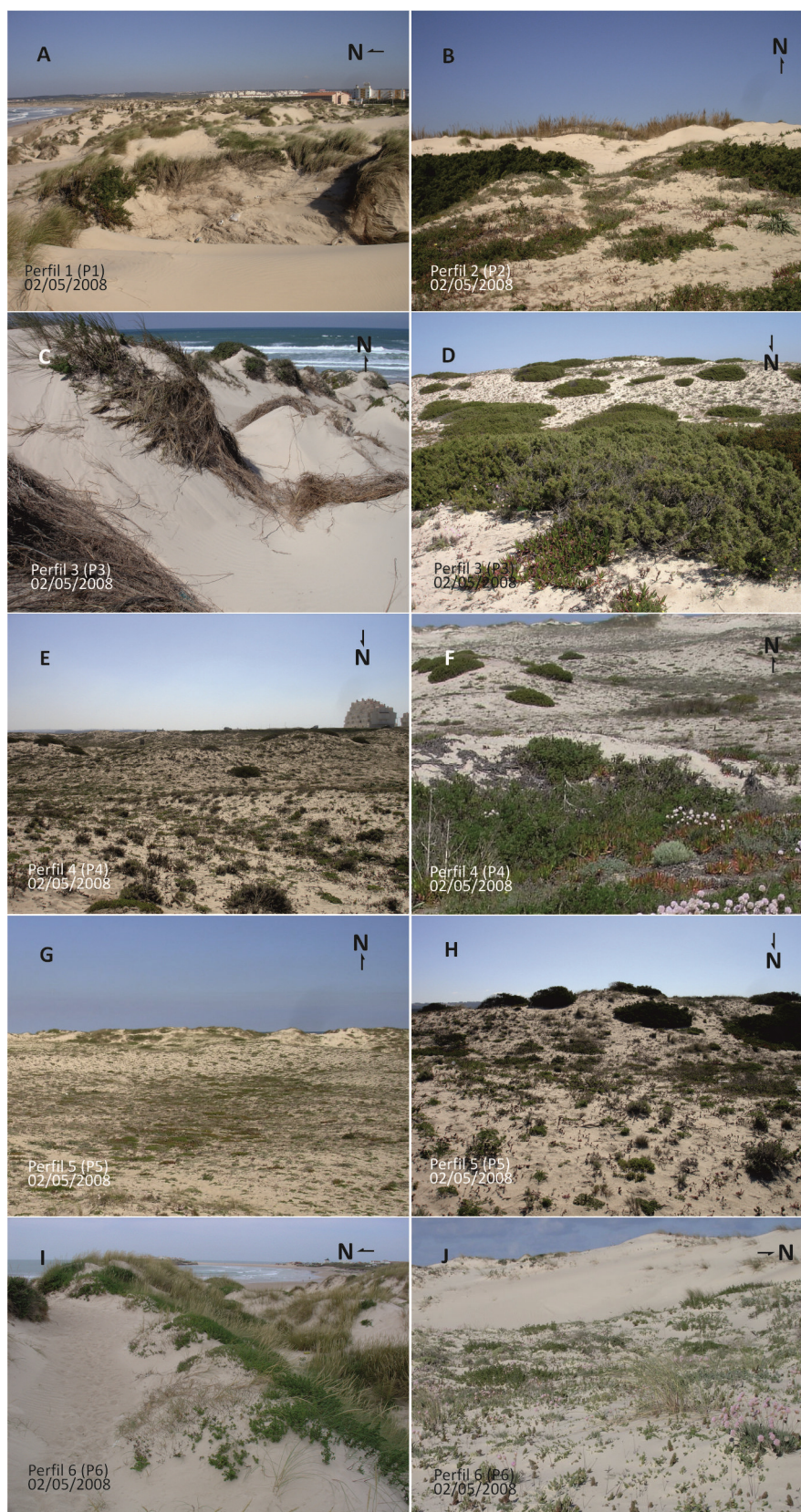
As características dos perfis geo-ecológicos, enumerados de ocidente para oriente, são sucintamente apresentadas no Quadro 3.6.

Quadro 3.6. Descrição dos perfis morfo-ecológicos realizados no sistema dunar de Peniche-Baleal (Primavera de 2008).

LOCALIZAÇÃO		CARACTERÍSTICAS MORFO-ECOLÓGICAS
P1	troço mais ocidental, junto à praia de Peniche de Cima	identifica-se apenas um tipo morfo-ecológico de duna (a duna branca) e 16 espécies distintas de vegetação dunar; a duna branca, dominada por <i>Ammophila arenaria</i> , estende-se por cerca de 90 m até contactar com o talude artificial; a duna cinzenta e verde são ausentes devido à artificialização da duna, estabilizada com <i>Carpobrotus edulis</i> (Figura 3.18. e Fotos 3.5. A)
P2	troço inicial da praia da Cova de Alfarroba	identifica-se dois tipos morfo-ecológicos de duna e 18 espécies distintas de vegetação dunar; a duna branca é atipicamente extensa, com cerca de 125 m de comprimento, onde domina a espécie <i>Ammophila arenaria</i> ; possui uma morfologia incipiente devido à instabilização dos sedimentos; apresenta um comportamento claramente transgressivo, que conduziu ao desaparecimento da duna cinzenta, contactando directamente com um pequeno retalho de duna verde que só foi possível reconhecer devido à presença de um pequeno núcleo de <i>Juniperus turbinata</i> com porte arbustivo (Figura 3.18. e Fotos 3.5. B).
P3	praia da Cova de Alfarroba	apresenta os três tipos morfo-ecológicos de duna e 27 espécies distintas de vegetação dunar; a duna branca prolonga-se por cerca de 30 m e apresenta uma morfologia muito fragmentada; está colonizada por várias espécies mas a <i>Ammophila arenaria</i> é dominante; sucede-lhe a duna cinzenta, com cerca de 60 m de extensão, onde é notória a presença do endemismo <i>Armeria welwitschii</i> ; a duna verde, bastante extensa, com aproximadamente 100 m de comprimento, possui vários núcleos descontínuos de <i>Juniperus turbinata</i> (Figura 3.18. e Fotos 3.5. C e D).
P4	troço central da praia da Cova de Alfarroba	apresenta os três tipos morfo-ecológicos de duna e 25 espécies distintas de vegetação dunar; a duna branca, fortemente colonizada por <i>Ammophila arenaria</i> , possui uma morfologia muito degradada; a duna cinzenta prolonga-se por mais de duas centenas de metros e é possível observar a presença dos endemismos <i>Armeria welwitschii</i> e <i>Verbascum litigiosum</i> ; a duna verde, com cerca de 100 m de comprimento, possui esparsos núcleos de <i>Juniperus turbinata</i> (Figura 3.18. e Fotos 3.5. E e F).
P5	troço terminal da praia da Cova de Alfarroba	apresenta os três tipos morfo-ecológicos de duna e 24 espécies distintas de vegetação dunar; a duna branca, fragmentada e dominada pela espécie <i>Ammophila arenaria</i> , prolonga-se por cerca de 30 m; a duna cinzenta, claramente mais desenvolvida no conjunto dos perfis (cerca de 350 m de comprimento), acolhe, entre outras espécies, os dois endemismos; a duna verde ocupa um pequeno nicho na área mais interior do sistema dunar onde é notória a presença de <i>Juniperus turbinata</i> (Figura 3.18. e Fotos 3.5. G e H).
P6	troço mais oriental, junto à praia do Baleal Campismo	apresenta os três tipos morfo-ecológicos de duna e 24 espécies distintas de vegetação dunar; a duna branca, dominada por <i>Ammophila arenaria</i> , exibe uma dimensão atípica (a mais larga no conjunto dos seis perfis), com cerca de 165 m; a morfologia da duna branca está muito degradada; contacta com a duna cinzenta transgredindo-a; a duna verde exibe vários núcleos de <i>Juniperus turbinata</i> (Figura 3.18. e Fotos 3.5. I e J).

Os perfis permitiram avaliar que a diversidade da vegetação dunar aumenta significativamente à medida que se abandona a duna branca e avança para o interior do sistema dunar, para a duna cinzenta e duna verde.

De um modo geral, a duna branca apresenta menor número de espécies (≤ 11) e a duna cinzenta e duna verde um número mais significativo, compreendido entre 11 e 17 espécies (Figura 3.19).



Fotos 3.5. Duna branca com *Ammophila arenaria* (A); Contacto da duna verde com a duna branca (B); Morfologia da duna branca moldada em cristas em forma de cúpula (C); Duna verde com *Juniperus turbinada* (D); Extensão de duna cinzenta e duna verde (E); Duna verde com *Armeria welwitschii* (F); Extensão da duna cinzenta (G); Retalho de duna verde (H); Vegetação na duna branca (I); Contacto da duna branca com a duna cinzenta (J). Localização das fotos na Figura 3.18.

Excepção a este comportamento é P1 que, na ausência de duna cinzenta e duna verde, tem presente na duna branca (e talude artificial) 16 espécies, algumas atípicas deste ecossistema, exemplo de *Arctotheca calendulae*, *Plantago coronopus*, *Senecio gallicus* e *Vulpia allopecurus*. De acordo com García-Mora *et al* (2000), estas espécies estão associadas a solos mais consolidados e ricos em água e nutrientes, daí que colonizem sobretudo o talude artificial existente em P1. Porém, algumas destas espécies estão também presentes na duna cinzenta e duna verde de P3, P4, P5 e P6. Os mencionados perfis, por serem os mais extensos, apresentam maior diversidade florística, sendo possível identificar mais de duas dezenas de espécies. No conjunto dos perfis identificaram-se 32 espécies distintas (veja-se o Anexo V).

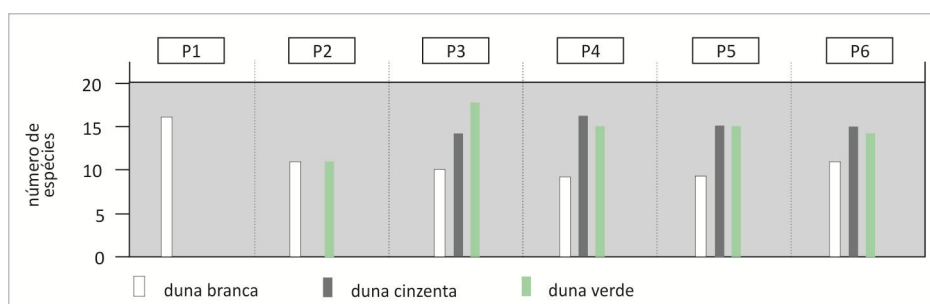


Figura 3.19. Quantificação das espécies de vegetação dunar presentes nos distintos tipos morfo-ecológicos de duna, identificados nos seis perfis geo-ecológicos realizados sistema dunar de Peniche-Baleal (Primavera de 2008).

Verificou-se a coexistência de espécies da duna branca, cinzenta e verde. Na opinião de alguns autores, tais como García-Mora *et al* (2000), Henriques & Neto (2002) e Lomba *et al* (2008), este fenómeno poderá testemunhar alguma degradação da vegetação natural típica, decorrente da degradação do sistema dunar.

A monitorização da vegetação dunar (número de espécies, diversidade florística, associações fitossociológicas, taxa de cobertura, estado de conservação) constituiu um importante indicador da degradação, resiliência e vulnerabilidade dos sistemas dunares, uma vez que a resposta da vegetação a mudanças ambientais, induzidas por factores naturais ou antrópicos, é imediata. Este é um campo da ciência que futuramente poderá contribuir com ferramentas e modelos úteis no apoio à definição de estratégias de ordenamento e gestão de sistemas dunares.

3.7. A ACÇÃO ANTRÓPICA

O sistema dunar Peniche-Baleal é sujeito a várias agressões, que se prendem sobretudo com o uso antrópico indevido, ou mesmo insustentável. A sua elevada atractividade enquanto espaço de lazer, incrementa a pressão antrópica que por sua vez condiciona a evolução geomorfológica do sistema e contribui para a manutenção do estado de degradação, visível em alguns troços do sistema dunar, principalmente na duna frontal.

A elevada atratividade que este troço litoral exerce sobre veraneantes, turistas e desportistas reside (i) na posição geográfica do sistema dunar, inserido numa das mais populosas e desenvolvidas regiões do país – o Oeste – e localizado a apenas algumas dezenas de quilómetros de Lisboa; (ii) nas óptimas condições de acessibilidade (proximidade da Estrada Municipal nº 578, da Estrada Nacional nº 114 e IP6); (iii) nas suas características climáticas e geomorfológicas, exibindo clima ameno e uma praia com cerca de 3,5 km de extensão; (iv) na presença de praias sucessivamente galardoadas com o prémio Bandeira Azul, desde 2004, exemplo das praias da Gamboa, Cova da Alfarroba e Baleal Sul; (v) na presença de vários empreendimentos turísticos (hotéis, apartamentos turísticos, *surf camps*, campos de campismo); (vi) na forte aposta do concelho de Peniche nas práticas desportivas ligadas ao *surf* (*surf*, *windsurf*, *bodyboard*, *kitesurf*), sustentada por diversos eventos desportivos nacionais e internacionais realizados anualmente.

3.7.1. OS USOS DO SISTEMA DUNAR

O pisoteio, a circulação de veículos automóveis, o uso da duna frontal como extensão da praia, as práticas desportivas, o estacionamento não ordenado e o despejo de entulho são os principais problemas identificados (Ramos-Pereira *et al*, 2008). Este tipo de utilização antrópica não considera a natureza frágil e dinâmica que o sistema dunar exhibe.

O pisoteio surge indiscriminadamente por todo o sistema dunar (Fotos 3.6. A e B). Na ausência/insuficiência de caminhos sobrelevados que permitam o acesso à praia, os veraneantes e turistas, traçam sobre o sistema dunar o caminho que mais lhe convém. Adicionalmente, a prática de desportos ligados ao *surf*, estimulada pela enorme proliferação de escolas de *surf* e de estabelecimentos especializados em acolher estes desportistas – *surf camps* – atrai durante todo o ano desportistas, que *atravessam transversalmente o sistema dunar para ter acesso à praia e às ondas, contribuindo para a manutenção de alguns caminhos não ordenados*, como foi sugerido por Ramos-Pereira *et al* (2008).

Apesar da proibição da circulação de veículos automóveis e ciclomotores em sistemas praia-duna (instituída pelo Decreto-Lei nº 218/95 de 26 de Agosto), é comum observar veículos a transitar sobre o sistema dunar uma vez que existe acesso a caminhos com largura suficiente para permitir a sua circulação (Fotos 3.6. C e D).

Um pouco por todo o sistema dunar existem espaços com dimensão suficiente para serem utilizados como estacionamento não ordenado. Localizam-se, geralmente, nas imediações de apoios de praia ou empreendimentos turísticos, onde o acesso ao sistema dunar é facilitado pela

existência de degraus desnivelados (rampas) ao longo da Estrada Municipal Nº 578 (Fotos 3.6. E e F).

Nas proximidades dos núcleos urbanos de Peniche e do Baleal, onde a duna frontal contacta mais suavemente com a praia devido à degradação da sua morfologia (rever os perfis 1 (P1), 2 (P2) e 6 (P6)), os veraneantes usam, por vezes, a duna como extensão da praia (Fotos 3.6. G e H).

No troço central do sistema dunar, junto à praia da Cova de Alfarroba, existe um campo destinado à prática desportiva de tiro ao alvo onde a abundância de fragmentos de barro provenientes dos pratos, presentes numa vasta área circundante ao campo, constituem um verdadeiro obstáculo à regeneração da vegetação dunar (Fotos 3.6. I).

Ainda neste troço central do sistema dunar, junto a uma edificação (armazém), encontram-se depósitos volumosos de entulho, provavelmente provenientes da construção civil (Fotos 3.6. J). De acordo com a opinião expressa por Ramos-Pereira *et al* (2008), estes depósitos, para além de serem inestéticos, constituem também um obstáculo à regeneração da vegetação.

3.7.2. A REDE DE CAMINHOS NÃO ORDENADOS

O sistema dunar possui uma vasta rede de caminhos não ordenados, bastante disseminados, mas particularmente densos sobre a duna frontal, como é possível constatar na Figura 3.20.

A rede de caminhos não ordenados apresenta grande variabilidade no que respeita à largura dos caminhos que a constituem (Quadro 3.7.).

Quadro 3.7. Classificação da largura e comprimento dos caminhos não ordenados do sistema dunar de Peniche-Baleal.

CLASSES DE LARGURA (m)	COMPRIMENTO (m)
≥7,01	529,98
4,01 – 7,00	714,28
2,01 – 4,00	3 695,26
≤2,00	22 499,68
Σ	27 439,2

A largura mínima aferida foi 0,5 m e a máxima 12 m. Esta variabilidade poderá indicar, indirectamente, o tipo e frequência de uso dos caminhos não ordenados, pedonal ou automóvel, intensa ou moderada, como foi sugerido por Ramos-Pereira *et al* (2008).

Os caminhos com largura ≤2,00 m, localizados sobretudo sobre a duna frontal, são os mais abundantes e totalizam cerca de 22 km de comprimento! Os caminhos mais largos (≥7,01 m), onde a circulação de veículos motorizados é possível, localizam-se nos extremos ocidental e oriental do sistema dunar, junto aos aglomerados urbanos de Peniche e do Baleal, respectivamente.



Fotos 3.6. Pisoteio da duna frontal promovido por veraneantes e desportistas (A e B); Circulação de veículos automóveis (C e D); Estacionamento não ordenado (E); Rampa de acesso (F); Utilização da duna frontal como extensão da praia (G e H); Campo de tiro e pormenor dos fragmentos deixados no solo (I); Depósito de entulho (J). Localização das fotos na Figura 3.20.

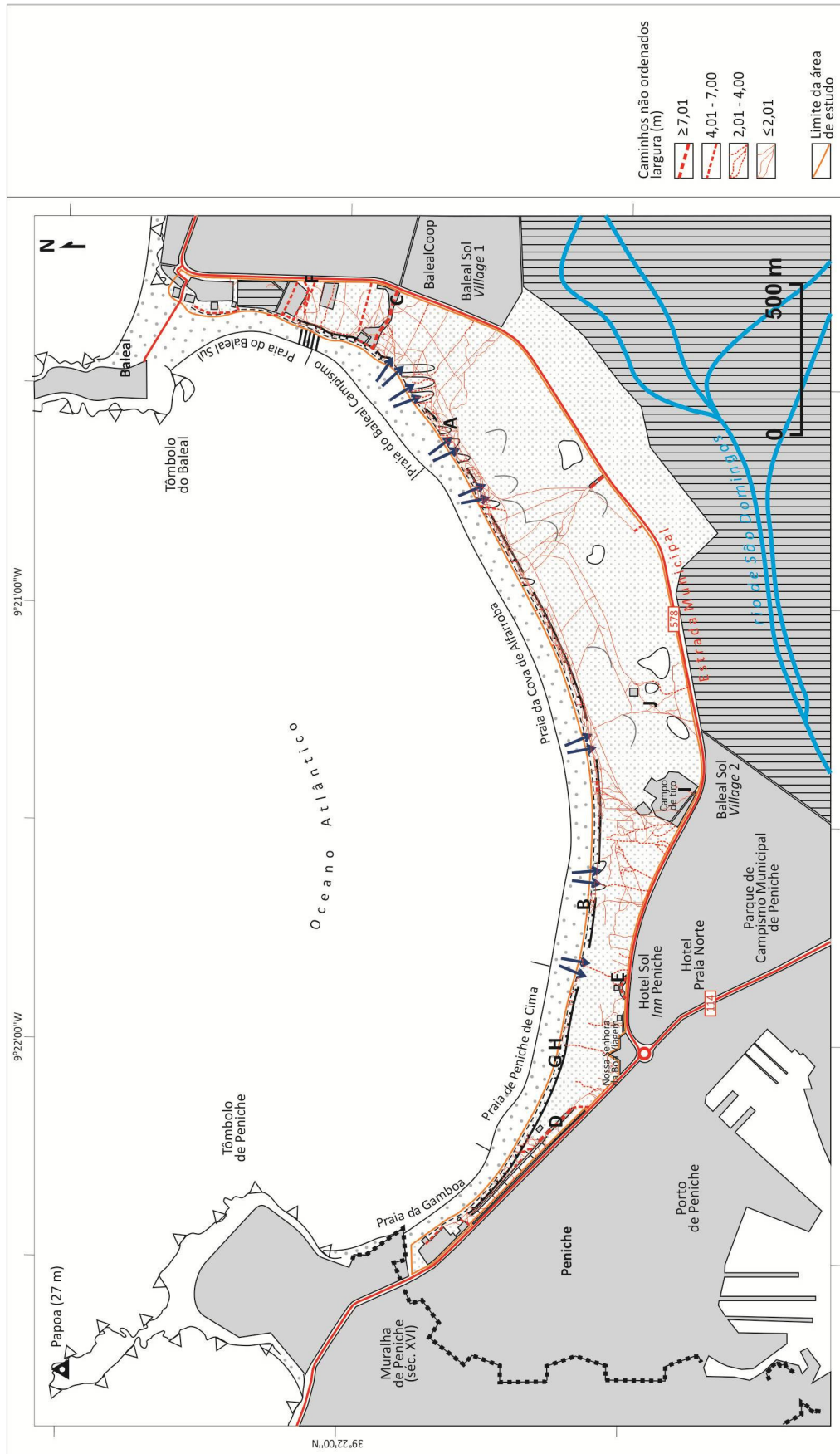


Figura 3.20. Rede de caminhos não ordenados indentificada no sistema dunar de Peniche-Baleal. As letras indicativas da localização das Fotos.3.6. (Base cartográfica: Ortofotomapa 2005).

No sistema dunar adjacente à praia de Peniche de Cima certamente existe maior número de caminhos não ordenados do que aqueles que foram delimitados mas a instabilidade dos sedimentos é tal que apenas permite identificar os mais definidos.

Em alguns pontos do sistema dunar, geralmente coincidentes com áreas de estacionamento não ordenado, imediações de apoios de praia ou empreendimentos turísticos, os caminhos não ordenados iniciam-se por um único trilho, largo, que depois se ramifica com a aproximação à praia (reveja-se a Figura 3.20.).

Investigação preliminar de Hosier & Eaton (1980), realizada num sistema de ilhas-barreira de North Carolina (EUA), em duas áreas com condições de acessibilidade automóvel distintas, permitiu esclarecer os efeitos da circulação automóvel sobre a vegetação dunar. Os autores verificaram o aumento da compactação do solo (até profundidades compreendidas entre 1, 5 e 15 cm), a redução da taxa de cobertura da vegetação dunar e o declínio da diversidade florística na área mais perturbada pela circulação automóvel. Em consequência, Hosier & Eaton (1980) confirmaram, nesta área, o incremento da vulnerabilidade à ocorrência de galgamentos oceânicos.

Carter (1988), por sua vez, afirma que o pisoteio e o desenvolvimento de redes de caminhos não ordenados (trilhos) resultam na degradação dos sistemas dunares. Caminhos não ordenados com elevada intensidade de uso são preponderantes na redução ou eliminação da vegetação dunar. Em consequência, verifica-se um aumento das áreas não vegetadas que, com o tempo, são erodidas pelo vento e evoluem para brechas e *blowouts*. Segundo o supracitado autor, as cristas das dunas são mais vulneráveis ao pisoteio uma vez que nestas áreas mais elevadas a acção do vento e da gravidade é mais eficiente.

3.7.3. AS MEDIDAS DE ORDENAMENTO E GESTÃO

São diversas as medidas de ordenamento e gestão implementadas no sistema dunar de Peniche-Baleal, concretizadas sobretudo a partir da década de 1980. Veja-se a Figura 3.21. que identifica e localiza as medidas implementadas.

Desde o século XIX que existem referências à instabilidade do sistema dunar. Ribeiro & Delgado (1868 in Henriques & Neto, 2002) relatam o comportamento transgressivo do sistema dunar e a tentativa de estabilização e fixação dos sedimentos com pinheiro-bravo, mato, estorno e zimbro-das-areias.

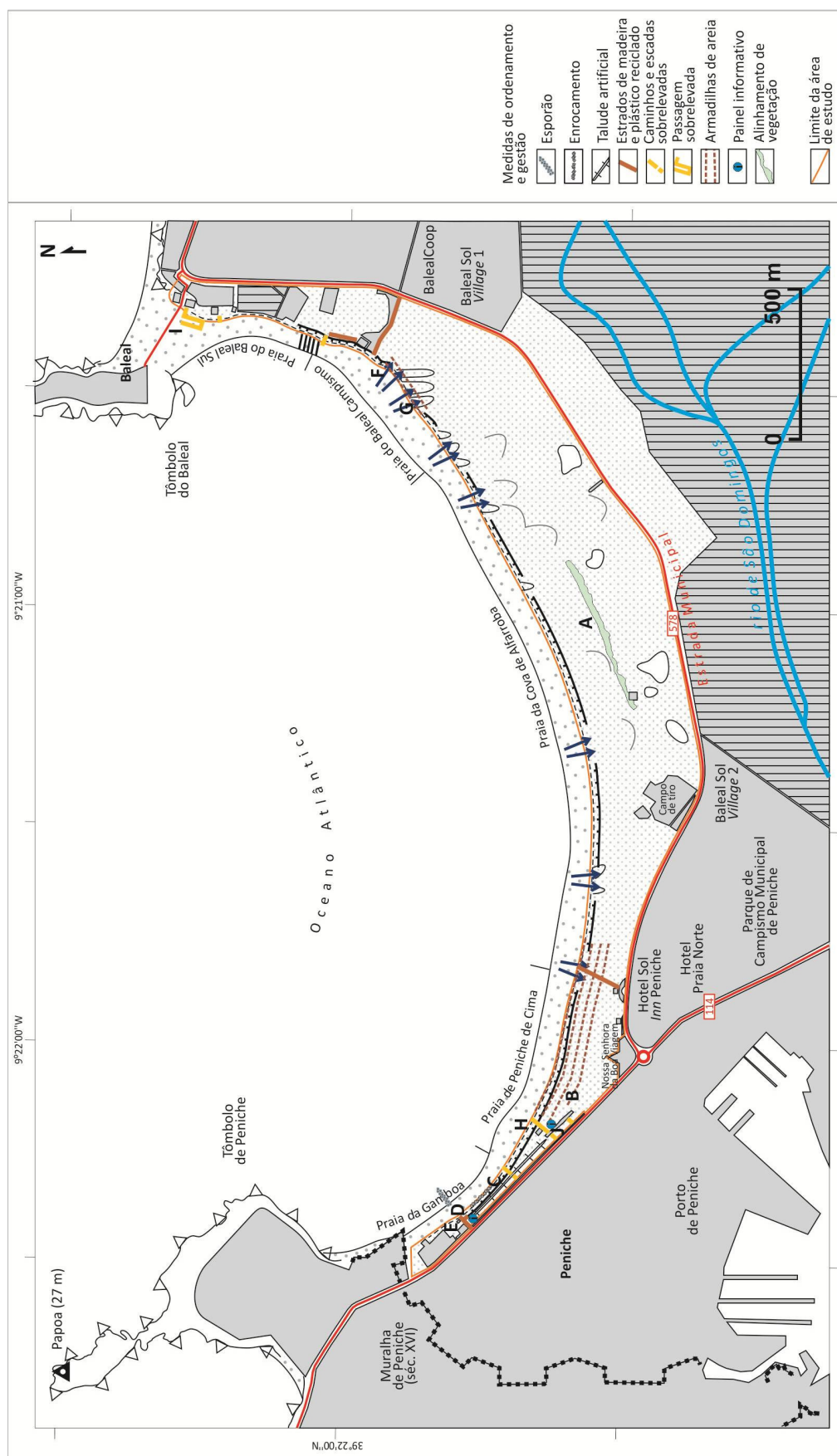


Figura 3.21. Medidas de ordenamento e gestão implementadas no sistema dunar de Peniche-Baleal. As letras indicativas da localização das Fotos.3.7. (Base cartográfica: Ortofoto 2005).

Pensa-se que a existência de um alinhamento de vegetação densa no troço central do sistema dunar, junto à praia da Cova de Alfarroba, constituído por *Acacia cyanophylla* (vulgo, acácia-saligna), *Myoporum tenuifolium* (vulgo, mióporo) e alguns exemplares de pinheiro-bravo, com fortes deformações morfológicas (porte pequeno e prostado, com altura inferior a 2 m), será um vestígio dessas medidas de estabilização uma vez que não se encontram mais exemplares destas espécies no sistema dunar (Fotos 3.7. A). A *Acacia cyanophylla* é uma planta exótica de origem australiana, introduzida em Portugal para mitigar a erosão em dunas litorais e muito comum no litoral setentrional do território português (ICBN). Contudo, possui estatuto legal de planta invasora (instituído pelo Decreto-Lei nº 565/99 de 21 de Dezembro).

Em 1902, cerca de 30 anos depois da intervenção documentada por aqueles autores, Ferreira (1902 *in* Henriques & Neto, 2002) refere a continuação da degradação do sistema dunar ocasionada pela escassez de vegetação e pela ocorrência de galgamentos oceânicos em ocasião de temporais e preiamar viva.

Anos mais tarde, na década de 1980, um pequeno retalho do sistema dunar no troço correspondente à praia da Cova de Alfarroba, junto ao Hotel Sol Inn Peniche, foi alvo de instalação de estruturas de retenção de sedimentos, aqui designadas por armadilhas de areia, construídas com caniços (Fotos 3.7. B). Foi ainda nesta altura que a duna frontal, junto ao núcleo urbano de Peniche, na praia da Gamboa, foi estabilizada artificialmente. Posteriormente, na década de 1990, segundo foi possível apurar, neste mesmo troço litoral procedeu-se ao enrocamento da base da duna artificial e à construção de um pequeno esporão com vista a mitigar os efeitos danosos da erosão marinha (Fotos 3.7. C e D).

Desde 2004, que a Câmara Municipal de Peniche, por meio do Departamento de Energia e Ambiente, coordena a execução do Projecto “Sistema de Estabilização do Cordão Dunar Norte”, pondo em prática algumas medidas de protecção do sistema dunar.

Essas medidas tem sido concretizadas sobretudo pela colocação de estrados de madeira e plástico reciclado (Fotos 3.7. E) para acesso às praias da Cova de Alfarroba e Baleal Campismo, e da instalação de armadilhas de areia, construídas com caniços e malha sintética (Fotos 3.7. F). Estas armadilhas de areia foram instaladas na frente dunar e a sotavento da duna frontal, com o intuito de promover a retenção dos sedimentos eólicos. Algumas destas armadilhas estão muito danificadas e necessitam de manutenção urgente para continuarem a exercer eficazmente a sua função (Fotos 3.7. G).

Os caminhos sobrelevados, que previnem o pisoteio do sistema dunar, são escassos. Com efeito, foi no âmbito do supracitado Projecto que a Câmara Municipal de Peniche construiu os dois

caminhos sobrelevados que existem no troço correspondente à praia de Peniche de Cima (Fotos 3.7. H). Estas estruturas construídas em madeira são interrompidas no topo da duna. Ainda neste troço existe uma escada sobrelevada cuja estrutura termina no topo da duna artificializada. Assim concebidas, estas estruturas não são totalmente eficazes na mitigação do pisoteio da duna porque não condicionam o acesso e permitem que os utilizadores tracem caminhos alternativos para aceder à praia.

Na praia do Baleal Sul, junto ao núcleo urbano do Baleal (extremo oriental do sistema dunar), existe uma escada e uma passagem sobrelevadas, construídas em madeira, que facilitam o acesso aos apoios de praia a partir da praia (Fotos 3.7. I).

Refira-se ainda a existência de dois painéis informativos que mencionam a importância e o valor ecológico das dunas e as intervenções realizadas pela Câmara Municipal de Peniche. Estes painéis informativos evidenciam alguma degradação, e foram colocados no limite interior do sistema dunar, no troço litoral correspondente às praias de Gamboa e Peniche de Cima (Fotos 3.7. J).

3.8. SÍNTESE

Ao longo deste capítulo efectuou-se uma breve caracterização da dinâmica natural e do efeito da acção antrópica no sistema dunar, que agora se sintetiza.

O conhecimento destas características será fundamental para prosseguir a avaliação da vulnerabilidade biofísica dunar pelo método das *checklists* (capítulo seguinte).

A análise preliminar da dinâmica natural do sistema dunar evidenciou que:

- (i) a morfologia da frente dunar está muito degradada, facto comprovado pela presença de micro-arribas de erosão, brechas e *blowouts* e, em alguns casos, pelo comportamento transgressivo dos sedimentos da duna frontal;
- (ii) durante o período estival existem condições favoráveis de vento que possibilitam o robustecimento da duna frontal, pela dominância de vento forte de Norte, de mar para terra;
- (iii) em episódios de precipitação intensa e concentrada, o troço litoral será beneficiado pelo afluxo de sedimentos transportados pelos pequenos cursos de água localizados a Sul da bacia hidrográfica da Lagoa de Óbidos;
- (iv) a reduzida dimensão das bacias hidrográficas das ribeiras do Oeste e as suas características geológicas, predominantemente calcários e margas, condicionam o fornecimento de sedimentos ao litoral;



Fotos 3.7. Alinhamento de vegetação (A); Armadilhas de areia construídas com caniços (B); Enrocamento da base da duna artificial (C); Esporão (D); Estrados de plástico e madeira junto a um apoio de praia (E); Armadilhas de areia de malha sintética (F e G); Escadas e passagem sobrelevadas (H e I); Painel informativo (J). Localização das fotos na Figura 3.21.

- (v) em períodos de elevada hidrodinâmica (Inverno marítimo) as ondas actuam directamente na duna frontal promovendo fenómenos de galgamento oceânico;
- (vi) o Canhão submarino da Nazaré, entalhado na plataforma continental adjacente, reduzirá substancialmente os sedimentos em trânsito na corrente de deriva litoral;
- (vii) o tratamento sedimentológico das amostras confirma que a frente dunar do sistema estará sujeita à acção marinha;
- (viii) a vegetação dunar apresenta elevada diversidade e bom estado de conservação, sobretudo a sotavento da duna frontal, onde é possível reconhecer duas importantes espécies endémicas lusitanas com estatuto de protecção.

O estudo do efeito da acção antrópica demonstrou que o sistema dunar é sujeito a várias agressões que se prendem sobretudo com o uso antrópico indevido, designadamente o pisoteio, a circulação de veículos automóveis, o uso da duna frontal como extensão da praia, as práticas desportivas, o estacionamento não ordenado e o despejo de entulho. O pisoteio e a circulação de veículos automóveis estão na origem de uma disseminada rede de caminhos não ordenados, particularmente densa sobre a duna frontal.

A acção antrópica condiciona em grande medida a evolução geomorfológica da duna frontal e a sua capacidade de resiliência e vulnerabilidade biofísica. No sentido de mitigar a erosão e degradação da duna frontal, foram implementadas algumas medidas, de ordenamento e gestão, sobretudo a partir da década de 1980, concretizadas pela artificialização da duna no troço mais ocidental do sistema dunar, pela colocação de armadilhas de areia e pela construção de alguns caminhos, escadas e passagem sobrelevadas.

4. AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE BIOFÍSICA DUNAR PELO MÉTODO DAS *CHECKLISTS*

A avaliação da vulnerabilidade biofísica do sistema dunar de Peniche-Baleal fundamentou-se, como foi referido no início desta dissertação, (i) na análise da dinâmica natural do sistema; (ii) no efeito da acção antrópica; (iii) na aplicação de duas *checklists*, *checklist* 1 – lista de controlo de vulnerabilidade dunar e *checklist* 2 – lista de controlo de resiliência dunar.

Após a breve análise da dinâmica natural e do efeito da acção antrópica no sistema dunar, bem como a reflexão sobre as implicações de tais condicionalismos na sua resiliência e vulnerabilidade, avalia-se agora a sua vulnerabilidade biofísica através da aplicação das mencionadas *checklists*.

O método das *checklists* consiste, segundo a concepção de Davies *et al* (1995), Duarte *et al* (1999), Ferreira & Laranjeira (2000), Laranjeira (1997), Laranjeira *et al* (1999), Matias *et al* (1998), Ramos Pereira & Laranjeira (2002), Williams & Davies (2001) e Williams *et al* (2001), na listagem de um conjunto de parâmetros relevantes e comuns à generalidade dos sistemas dunares litorais, relacionados com as suas características e aspectos biofísicos e de pressão antrópica (ocupação e uso), que caracterizam as condições actuais dos sistemas dunares e identificam os parâmetros que mais contribuem para a sua vulnerabilidade. As *checklists* reconhecem, portanto, os problemas que causam erosão, degradação ou destruição dos sistemas dunares litorais, induzidos por factores naturais ou antrópicos.

Nesta abordagem, cada um dos parâmetros de vulnerabilidade é classificado e avaliado através da atribuição de um valor em função de níveis de vulnerabilidade pré-estabelecidos, determinando deste modo a sua importância relativa no conjunto dos parâmetros.

A utilização do método das *checklists* é, de acordo com a opinião expressa por Bodéré *et al* (1994), Davies *et al* (1995), Duarte *et al* (1999), Laranjeira (1997), Laranjeira *et al* (1999), Matias *et al* (1998), Ramos-Pereira & Laranjeira (2002), Williams & Davies (2001) e Williams *et al* (2001, 1993), muito vantajosa uma vez que permite:

- (i) recolher e sistematizar informação de uma forma simples e acessível a topo o tipo de utilizadores (mesmo aqueles que não possuem sem formação específica);
- (ii) obter resultados facilmente compreendidos pelos agentes responsáveis pela gestão dos sistemas dunares litorais;
- (iii) monitorizar sistemas dunares litorais no tempo (comparações evolutivas) e no espaço (comparações à escala local, regional, nacional e até mesmo internacional).

4.1. A DIVERSIDADE DO SISTEMA DUNAR

Os levantamentos de campo e a análise prévia da dinâmica natural e do efeito da acção antrópica no sistema dunar permitiram reconhecer a diversidade do sistema dunar no que respeita às suas características de:

- (i) vegetação dunar (tipo, estado de conservação e cobertura);
- (ii) degradação antrópica, decorrente da ocupação e uso antrópico;
- (iii) densidade da rede de caminhos não ordenados, decorrente do pisoteio e circulação automóvel;
- (iv) medidas de ordenamento e gestão implementadas.

Seria desaconselhável proceder à avaliação da sua vulnerabilidade biofísica sem atender a uma diferenciação espacial. Num sistema dunar com condições tão diversificadas a existência de algumas situações extremas poderiam ficar atenuadas pela obtenção de um valor de vulnerabilidade média, que pouco contribuiria para o seu correcto conhecimento e ordenamento e gestão, como reconheceu Matias *et al* (1998) num semelhante exercício de avaliação da vulnerabilidade dunar do sistema de ilhas-barreira da Ria Formosa (Algarve).

Assim, para evitar a subvalorização da vulnerabilidade biofísica do sistema dunar, procedeu-se a uma diferenciação em seis sectores dunares (S1, S2, S3, S4, S5 e S6) com base nas mencionadas características de vegetação dunar, de degradação antrópica, de densidade da rede de caminhos não ordenados e de medidas de ordenamento e gestão, constituindo estas critérios de diferenciação (Figura 4.1.). Esta diferenciação permitiu avaliar espacialmente a vulnerabilidade biofísica do sistema dunar.

As características dos sectores dunares, enumerados de ocidente para oriente, são sucintamente apresentadas no Quadro 4.1.

4.2. A APLICAÇÃO DA CHECKLIST 1 – LISTA DE CONTROLO DE VULNERABILIDADE DUNAR

Cada um dos parâmetros que compõe as secções de vulnerabilidade, A, B, C, D e E, avaliadas *checklist 1*, foi classificado de acordo com o seu nível de vulnerabilidade (o procedimento metodológico está esclarecido no Anexo I, e os valores de vulnerabilidade obtidos são apresentados no Anexo III).

O valor percentual obtido para cada secção de vulnerabilidade foi representado graficamente num sistema de eixos cartesianos, de modo a facilitar a leitura dos resultados (Figura 4.2.).

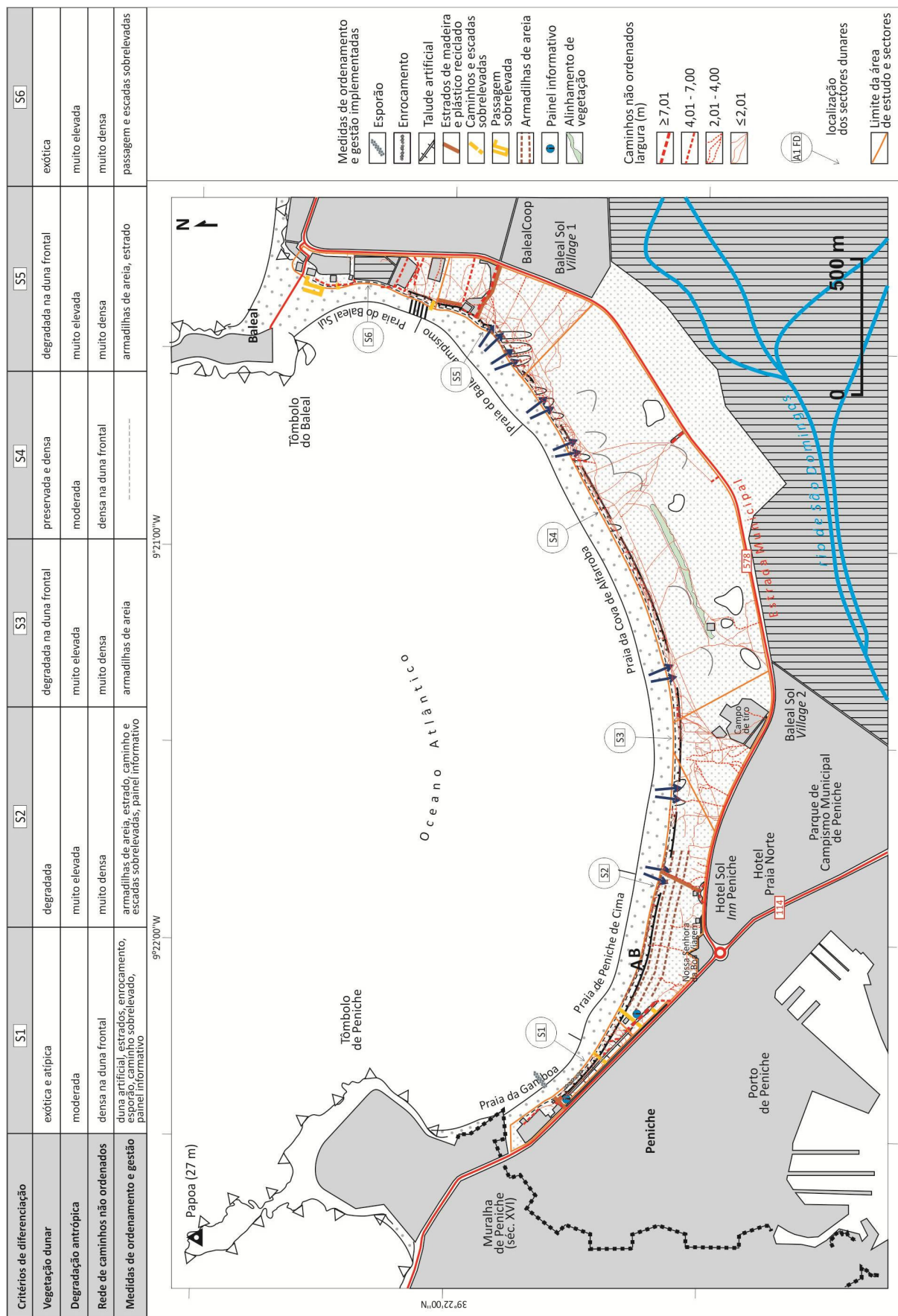


Figura 4.1. Sectores dunares individualizados no sistema dunar de Peniche-Baleal. As letras são indicativas da localização das Fotos 4.1. (Base cartográfica: Ortofotomapa 2005).

Quadro 4.1. Descrição dos sectores dunares individualizados no sistema dunar de Peniche-Baleal.

	LOCALIZAÇÃO	CARACTERÍSTICAS NATURAIS E ANTRÓPICAS
S1	troço mais ocidental, junto às praias da Gamboa e de Peniche de Cima	está fortemente colonizado por chorão-da-praia e espécies atípicas da duna branca; a degradação antrópica é moderada porque este troço foi submetido a diversas medidas de ordenamento e gestão: artificialização e enrocamento da duna frontal, construção de um esporão, colocação de estrados de madeira e plástico reciclado junto ao apoio de praia existente na praia da Gamboa, construção de um caminho sobrelevado de acesso à praia, colocação de um painel informativo; possui alguns caminhos não ordenados sobre a duna frontal artificializada.
S2	troço entre as praias de Peniche de Cima e da Cova de Alfarroba	a vegetação está degradada na duna frontal e a sotavento desta, facto comprovado pelo comportamento transgressivo da duna branca; a degradação antrópica é muito elevada devido ao pisoteio indiscriminado e à circulação de veículos motorizados, possível pela existência de um caminho não ordenado com cerca de 12 m de largura, induzindo o mencionado comportamento transgressivo da duna; neste troço já foram realizadas várias medidas de ordenamento e gestão: colocação de armadilhas de areia, colocação de estrados de madeira junto a um apoio de praia, construção de um caminho sobrelevado de acesso à praia e de uma escada sobrelevada de acesso ao topo da duna, colocação de um painel informativo.
S3	troço inicial da praia da Cova de Alfarroba	a vegetação está degradada na duna frontal mas preservada a sotavento desta; apresenta elevada degradação antrópica decorrente da presença de um campo de tiro e da rede de caminhos não ordenados, muito densa, onde é possível observar caminhos com largura na ordem dos 2-4 m; nos anos de 1980, um pequeno retalho deste sector foi intervencionado com a colocação de armadilhas de areia, denotando actualmente sinais de recuperação com regeneração da vegetação dunar;
S4	troço central da praia da Cova de Alfarroba	apresenta vegetação preservada com cobertura vegetal densa principalmente a sotavento da duna frontal; a degradação antrópica é moderada porque o sistema dunar é, neste troço, muito largo e robusto, dificultando a acessibilidade à praia; a rede de caminhos não ordenados é densa sobretudo na duna frontal; não foram identificadas medidas recentes de ordenamento e gestão deste troço do sistema dunar.
S5	troço da praia de Baleal Campismo	a cobertura vegetal é reduzida e degradada na duna frontal, comprovada pela instabilização dos sedimentos; a degradação antrópica é muito elevada devido ao pisoteio e circulação de veículos motorizados, que originaram a presença de várias brechas e <i>blowouts</i> ; a rede de caminhos não ordenados é muito densa, apresentando um caminho especialmente largo (12 m) que permite a circulação de veículos motorizados; este troço foi submetido a algumas medidas de ordenamento e gestão: colocação de estrados de madeira junto a apoios de praia, colocação de armadilhas de areia na duna frontal e em <i>blowouts</i> .
S6	troço mais oriental, junto à praia do Baleal Sul	está fortemente colonizado por chorão-da-praia; a degradação antrópica é muito elevada e generalizada devido à ocupação antrópica indevida (habitações, parcelas agrícolas abandonadas, campismo selvagem, parque de estacionamento ordenado); a rede de caminhos não ordenados é densa devido à existência de vários caminhos que facilitam a circulação de veículos motorizados sobretudo para aceder às habitações em espaço dunar; as medidas de ordenamento e gestão implementadas limitam-se à presença de passagem e escadas sobrelevadas junto a apoios de praia.

Seguidamente analisam-se os resultados obtidos da aplicação da *checklist* 1 para cada uma das secções de vulnerabilidade e realçam-se os principais factores que contribuíram para explicar os níveis de vulnerabilidade obtidos.

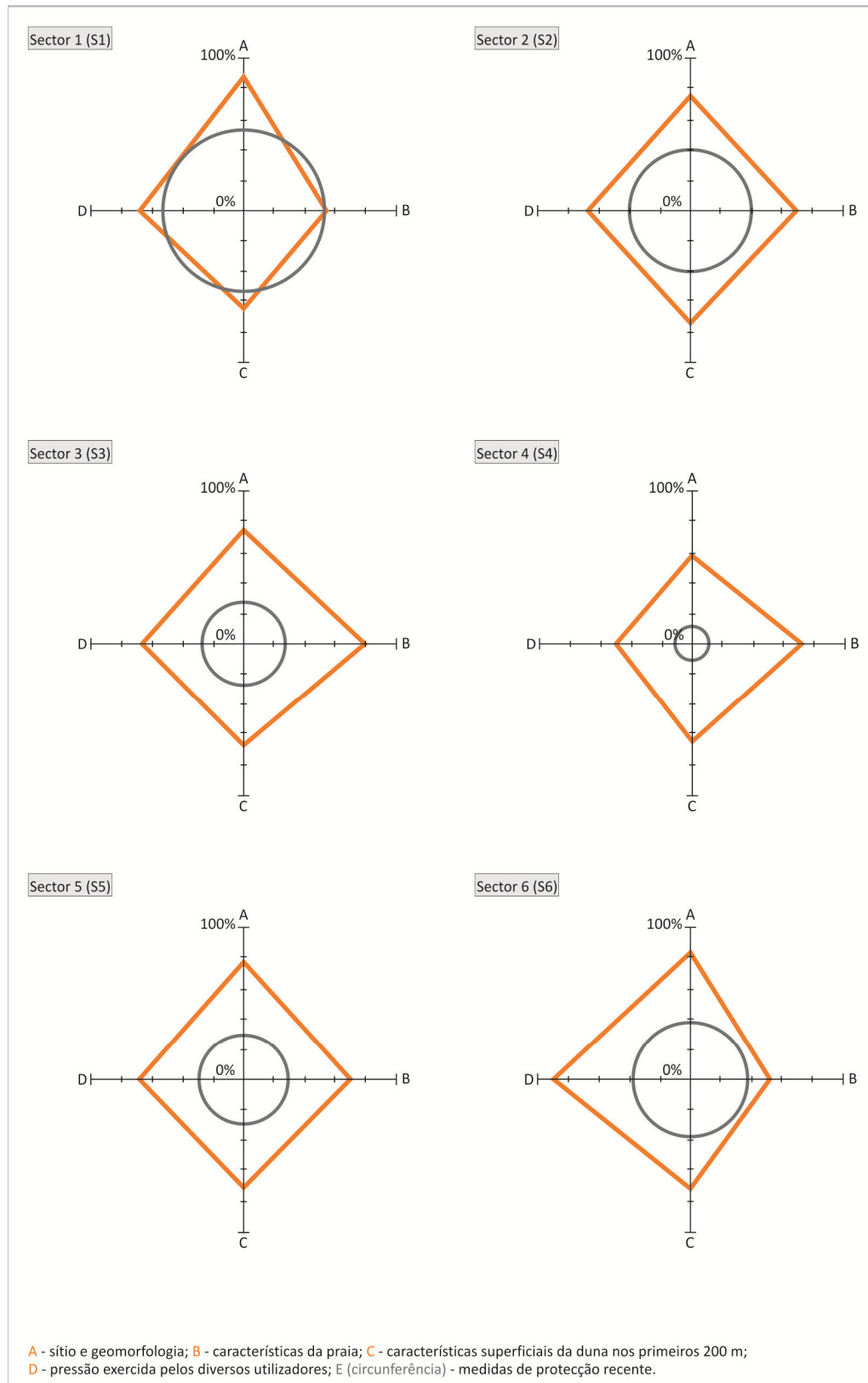


Figura 4.2. Avaliação das secções de vulnerabilidade dos sectores dunares individualizados no sistema dunar de Peniche-Baleal, com base na *checklist* 1 – lista de controlo de vulnerabilidade dunar (Primavera de 2008).

(i) Secção A – sítio e morfologia

Apresenta valores de vulnerabilidade elevados (>75%) para todos os sectores excepto para S4, onde o valor é inferior a 65,0%. Estes valores justificam-se pelo facto de todo o sistema dunar apresentar uma degradação generalizada da morfologia da duna frontal, onde dificilmente se identifica mais do que uma crista dunar bem definida. S1 detém o valor mais elevado de vulnerabilidade (87,5%), uma vez que se trata de um troço com morfologia artificial, onde a largura do sistema dunar apenas atinge cerca de uma centena de metros. S4 ostenta, no conjunto dos sectores dunares, uma morfologia mais robusta e preservada, com maior número de cristas bem definidas, daí que apresente valor de vulnerabilidade mais baixo (62,5%).

(ii) Secção B – características da praia

Apresenta valores de vulnerabilidade elevados (>69%) para os sectores dunares que compreendem o troço central do sistema dunar (S2, S3, S4 e S5). Os sectores dunares localizados nos extremos ocidental e oriental do sistema dunar, S1 e S6, respectivamente, possuem valores de vulnerabilidade mais reduzidos (<55%). Os níveis de vulnerabilidade obtidos são muito semelhantes para a maioria dos parâmetros que compõem esta secção, mas as diferenças surgem, sobretudo, quando se avalia as características das brechas a barlavento. Nestes parâmetros, S1 e S6 detêm níveis de vulnerabilidade mais reduzidos uma vez que apresentam brechas menos numerosas e menos largas.

(iii) Secção C – características superficiais da duna nos primeiros 200 m

Os valores de vulnerabilidade são muito elevados em todos sectores ($\geq 65\%$). Os principais factores que condicionam a vulnerabilidade do sistema dunar são a ocorrência frequente de galgamentos oceânicos, a ausência de dunas recentes (embrionárias) a barlavento, a ausência de coberto vegetal impenetrável e o recuo da frente dunar.

(iv) Secção D – pressão exercida pelos diversos utilizadores

Todos os sectores, à excepção de S4, apresentam valores elevados (>62%), confirmando a intensa pressão antrópica a que o sistema dunar é sujeito. Estes valores são justificados pela elevada acessibilidade a utilizadores e veículos motorizados, decorrente da proximidade da Estrada Municipal Nº 578, e pela elevada densidade de caminhos não ordenados. S6, com 88,9% de vulnerabilidade, possui o valor mais elevado no conjunto dos sectores. Seguramente, consequência da existência acrescida de várias construções e indícios da prática de campismo selvagem neste troço do sistema dunar. S4 detém um valor mais modesto (50%), justificado pela dificuldade de acesso dos utilizadores e menor densidade de caminhos não ordenados, sobretudo a sotavento da duna frontal. Com efeito, neste sector a largura do sistema dunar ronda 300-400 m desencorajando muitos utilizadores a atravessá-lo para aceder à praia.

(v) Secção E – medidas de protecção recentes

S1, S2 e S6 caracterizam-se, como foi mencionado no Quadro 4.1., pela presença de várias intervenções no sentido do seu ordenamento e gestão, daí que apresentem valores elevados de vulnerabilidade nesta secção (>38%), também sugerido pelo PM (Quadro 4.2.). No conjunto dos sectores dunares, S1 possui valor de PM mais elevado (55,6%), seguido de S2 (40%) e S6 (38,9%). Nestes três sectores dunares foram realizadas diversas medidas de protecção recentes e são os únicos que possuem ordenamento de caminhos através da colocação de estrados de madeira e de plástico reciclado e construção de caminhos, escadas e passagens sobrelevadas. O reduzido valor de PM (11,1%) no S4 reflecte a ausência de medidas de protecção.

Os valores de vulnerabilidade das secções A, B, C e D são elevados, sempre superiores a 50%, o que condiciona em grande medida os elevados valores obtidos para VI (>62%) (Quadro 4.2.). Estes valores são muito idênticos no conjunto dos sectores, contudo S1 e S4 apresentam valores mais modestos. Em S1, este facto justifica-se devido ao nível de medidas de protecção recentes que proporcionaram a mitigação de alguns problemas de degradação. Em S6, a preservação do sistema dunar e a reduzida acessibilidade (não por existirem medidas efectivas de restrição de acesso mas sim por existirem áreas de domínio privado, nomeadamente habitações), reduzem parcialmente a sua vulnerabilidade e pressão antrópica.

Quadro 4.2. Valores de vulnerabilidade obtidos para VI, PM e VI/PM nos sectores dunares individualizados no sistema dunar de Peniche-Baleal.

	VI (%)	PM (%)	VI/PM
S1	68,5	55,6	1,2
S2	72,9	40,0	1,8
S3	71,1	25,0	2,8
S4	62,4	11,1	5,6
S5	72,1	30,0	2,4
S6	75,0	38,9	1,9

O cálculo do rácio VI/PM (Quadro 4.2.) permite determinar o estado de equilíbrio entre a vulnerabilidade do sistema dunar e as medidas de protecção existentes, de acordo com investigação preliminar desenvolvida por Davies *et al* (1995), Dias *et al* (1994), Duarte *et al* (1999), Laranjeira (1997), Laranjeira *et al* (1999), Matias *et al* (1998) e Williams & Davies (2001).

Os valores VI/PM obtidos indicam que todos os sectores, excepto S1, padecem de um desequilíbrio negativo no seu ordenamento e gestão, isto é, os sectores são sub-geridos face à vulnerabilidade que detêm. S4 é particularmente sub-gerido se se considerar o elevado valor VI/PM (5,6). S1 encontra-se no limiar do que é considerado um sistema em equilíbrio, mas os elevados valores de vulnerabilidade (>65%) obtidos para as secções A, C e D indicam que as medidas de ordenamento e gestão implementadas serão insuficientes e/ou ineficazes.

Observando apenas a representação gráfica de VI e PM, sugerida pela dimensão dos polígonos e das circunferências na Figura 4.2., é perceptível que todos os sectores, à excepção de S1, encontram-se em situação de desequilíbrio negativo. Esta situação de desequilíbrio negativo será decorrente da insuficiência e/ou ineficácia das medidas de protecção recentes do sistema dunar face à sua vulnerabilidade.

4.3. APLICAÇÃO DA CHECKLIST 2 – LISTA DE CONTROLO DE RESILIÊNCIA DUNAR

Cada um dos parâmetros que compõe as secções de vulnerabilidade, A, B, C, D, E, OTA e AT, avaliadas na *checklist 2*, foi classificado de acordo com o seu nível de vulnerabilidade (o procedimento metodológico está esclarecido no Anexo II, e os valores de vulnerabilidade obtidos são apresentados no Anexo IV).

O valor percentual obtido para cada secção de vulnerabilidade foi representado graficamente num gráfico de barras de modo a facilitar a leitura dos resultados (Figura 4.3.).

Seguidamente analisam-se os resultados obtidos da aplicação da *checklist 2* para cada uma das secções de vulnerabilidade e realçam-se os principais factores que contribuíram para explicar os níveis de vulnerabilidade obtidos.

(i) secção A – ocorrência de formas de erosão originadas pela acção marinha, eólica e antrópica
Os valores de vulnerabilidade são particularmente elevados (>83%) em S2, S3 e S4. Vários factores condicionam a vulnerabilidade do sistema dunar nesta secção, nomeadamente, a existência de uma micro-arriba de erosão talhada na duna frontal, a ocorrência de galgamentos oceânicos (sobretudo por ocasião de tempestades), a existência de diversas brechas e alguns *blowouts* com dimensão considerável. No conjunto dos sectores dunares, S6 possui valor de vulnerabilidade mais reduzido (25%) decorrente da ausência de galgamentos oceânicos recentes e da reduzida presença de brechas e *blowouts*. Relembre-se que a frente dunar, junto à praia do Baleal Sul, contacta com uma plataforma rochosa, condição que influencia a ausência de indícios de degradação (galgamentos oceânicos, brechas e *blowouts*).

(ii) Secção B – ausência/presença de dunas recentes

A notória ausência de dunas embrionárias em praticamente todo o sistema dunar condiciona os valores máximos de vulnerabilidade (100%) obtidos em S1, S2, S4, S5 e S6. Excepção a este comportamento é S3 onde é possível observar a formação de algumas dunas embrionárias em pequenos *blowouts*. Em consequência, neste sector dunar o valor de vulnerabilidade é ligeiramente menor (87,5%).

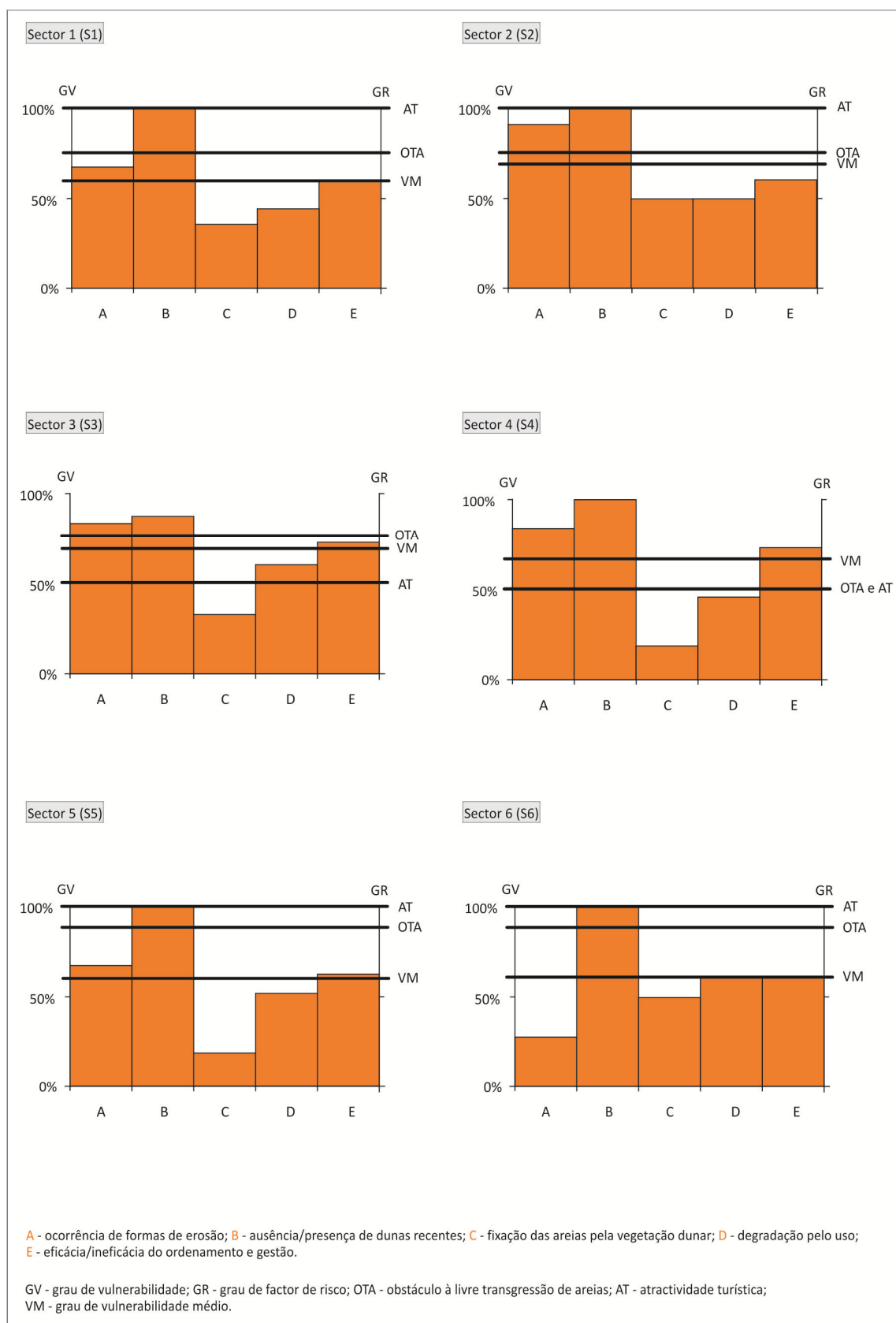


Figura 4.3. Avaliação das secções de vulnerabilidade dos sectores dunares individualizados no sistema dunar de Peniche-Baleal, com base na *checklist* 2 – lista de controlo de resiliência dunar (Primavera de 2008).

(iii) Secção C – fixação das areias pela vegetação dunar

Apresenta valores de vulnerabilidade $\leq 50\%$ em todos os sectores. O sistema dunar manifesta, de um modo geral, boa cobertura vegetal nas áreas a sotavento da duna frontal. Contudo existem problemas: a degradação da vegetação dunar na duna frontal e a presença disseminada de uma espécie exótica, o chorão-da-praia, que pouco contribui para a retenção e fixação dos sedimentos eólicos, para além de competir com as espécies de vegetação dunar autóctone. Com efeito, verificou-se que a duna frontal é colonizada por tufo de vegetação descontínua que frequentemente são danificados pela erosão marinha (galgamentos oceânicos) e acção antrópica (pisoteio). S2 (50%) e S6 (50%) são os sectores dunares mais vulneráveis. Relembre-se que no S2 a duna frontal possui um comportamento transgressivo devido à degradação generalizada da vegetação dunar. O S6, fortemente antropizado, é colonizado sobretudo por chorão-da-praia.

(iv) Secção D – degradação pelo uso

Apresenta valores compreendidos entre 41% e 58% para todos os sectores dunares. De um modo geral, o sistema dunar exibe uma rede de caminhos não ordenados muito densa e incisa, permitindo em alguns locais a circulação de veículos motorizados. Os valores são particularmente elevados ($\geq 50\%$) em S2, S3, S5 e S6, sujeitos a maior pressão antrópica devido à proximidade a empreendimentos turísticos e aos núcleos urbanos de Peniche e Baleal.

(v) Secção E – eficácia/ineficácia do ordenamento e gestão

Os valores de vulnerabilidade obtidos são elevados ($\geq 60\%$) em todos os sectores dunares e traduzem a ineficácia das medidas de ordenamento e gestão implementadas no sistema dunar e a ausência de outras medidas necessárias. Com efeito, existe insuficiência ou ausência de ordenamento de caminhos, de painéis informativos, de vigilância e controlo de veículos, de armadilhas de areia, de plantação de vegetação em áreas com areias móveis e de restrição de acesso.

(vi) Secção OTA – obstáculo à livre transgressão de areias

Avalia, como foi sugerido por Laranjeira (1997), a importância que o uso do solo marginal ao sistema dunar assume. Os levantamentos de campo e a consulta de cartografia permitiram reconhecer que as áreas contíguas ao sistema dunar (solo marginal) são fortemente antropizadas devido à presença de núcleos urbanos, empreendimentos turísticos, áreas agrícolas e vias de comunicação. Neste contexto, não são absurdos os elevados valores de vulnerabilidade ($\geq 75\%$) obtidos nos sectores ocidentais (S1, S2 e S3) e orientais (S5 e S6) do sistema dunar, uma vez que se localizam nas proximidades destes espaços antrópicos. A excepção é S4 (50%), localizado no troço central do sistema dunar, onde, actualmente, o solo

marginal não tem ocupação antrópica, nem existem outros espaços ordenados, tais como campos desportivos ou parques de campismo.

(vii) Secção AT – atractividade turística

Apresenta valores máximos (100%) para os sectores localizados nos extremos ocidental (S1 e S2) e oriental (S5 e S6) do sistema dunar, onde se verifica maior desenvolvimento da actividade balnear pela presença de vários apoios de praia e áreas de estacionamento autorizado. S3 e S4 detêm valores mais modestos (50%), em consequência da ausência de espaços de lazer e da reduzida presença de apoios de praia.

O Grau de Vulnerabilidade Médio (VM), calculado pelo valor médio percentual obtido para as secções de A, B, C, D e E é, em consequência, elevado para todos os sectores dunares, obtendo-se valores de VM superiores a 58% (Quadro 4.3.). Destes, S1, S5 e S6 detêm valores menos elevados de VM decorrente das medidas de gestão e ordenamento que foram implementadas, característica que condiciona a sua vulnerabilidade, reduzindo-a.

Quadro 4.3. Valores de vulnerabilidade obtidos para VM, OTA e AT nos sectores dunares individualizados no sistema dunar de Peniche-Baleal.

	VM (%)	OTA (%)	TA (%)
S1	60,3	75,0	100,0
S2	70,3	75,0	100,0
S3	66,5	75,0	50,0
S4	62,3	50,0	50,0
S5	59,7	87,5	100,0
S6	58,7	87,5	100,0

De acordo com Laranjeira (1997) e Laranjeira *et al* (1999), as secções OTA e AT constituem graus de factor de risco associados à vulnerabilidade e reflectem situações de risco efectivo ou potencial para o sistema dunar quando o grau de um ou ambos for superior ao VM, implicando uma situação de degradação e dano no sistema biofísico e nas actividades e infraestruturas antrópicas que aí existem.

Observando a Figura 4.3. e o Quadro 4.3. é fácil confirmar que os sectores dunares S1, S2, S5 e S6 denotam uma situação de risco por possuírem ambos os graus de factor de risco associados a OTA e AT superiores a VM. Constituem excepção S3 e S4. Em S3 apenas o grau de factor de risco associado a OTA é superior a VM. Tal facto traduz também uma situação de degradação, embora ligeiramente menos grave. S4, não apresentando nenhum dos graus de factor de risco acima do valor VM, ilustra uma situação de degradação menos assinalada que nos restantes sectores.

4.4. DISCUSSÃO

Os valores da *checklist* 1 obtidos para as secções de vulnerabilidade A, B, C e D são sempre elevados ($\geq 50\%$), facto confirmado pelos elevados valores de VI ($>62\%$). Os valores de VI são particularmente elevados ($>70\%$) em quatro sectores dunares (S2, S3, S5 e S6). Inversamente, os valores de vulnerabilidade da secção D são geralmente reduzidos ($\leq 40\%$ em S2, S3, S4, S5 e S6) o que indica a carência de medidas de protecção recentes.

A *checklist* 1 identifica (i) a existência de duna talhada em arriba; (ii) a existência de brechas e *blowouts*; (iii) a ocorrência de galgamentos oceânicos; (iv) a ausência de dunas recentes; (v) o recuo da frente dunar; (vi) a ausência de restrição de acesso a utilizadores e veículos motorizados; (vii) a densidade e incisão dos caminhos; (viii) a existência de construções; (ix) a ausência de medidas de protecção recentes; como factores preponderantes na elevada vulnerabilidade do sistema dunar, comuns a todos os sectores dunares individualizados (veja-se o Anexo III).

Os resultados obtidos pela aplicação da *checklist* 1 são corroborados pelos elevados valores de vulnerabilidade (geralmente $\geq 50\%$) avaliados nas secções de vulnerabilidade A, B, C, D, e E consideradas na *checklist* 2. Em consequência, também o VM apresenta valores elevados ($>58\%$), sobretudo em S2 (70,3%), S3 (66,5%) e S4 (62,3%). Este método, à semelhança do anterior, identificou como principais condicionantes da elevada vulnerabilidade do sistema dunar (i) a existência de duna talhada em arriba; (ii) a ocorrência de galgamentos oceânicos recentes; (iii) a existência de brechas e *blowouts*; (iv) a ausência de dunas embrionárias; (v) a densidade e incisão dos caminhos; (vi) a construção em área de duna; (vii) a eficácia/ineficácia de medidas gerais e específicas de ordenamento e gestão (veja-se o Anexo IV). Para esta situação de vulnerabilidade generalizada contribuem ainda os elevados valores de grau de factor de risco associados a $OTA \geq 75\%$ em cinco sectores dunares (S1, S2, S3, S5 e S6), e $AT=100\%$ em quatro sectores dunares (S1, S2, S5 e S6) (veja-se a Figura 4.3., o Quadro 4.3. e o Anexo IV).

A vegetação dunar, profusamente avaliada pela secção C da *checklist* 2, parece não constituir um problema grave de vulnerabilidade em nenhum dos sectores dunares. Este facto não será alheio à reconhecida diversidade e preservação da vegetação dunar, principalmente a sotavento da duna frontal.

O Quadro 4.4. sintetiza os resultados obtidos da aplicação das *checklists* 1 e 2 para cada um dos sectores dunares individualizados, destacando as secções de vulnerabilidade que obtiveram valores mais elevados ($\geq 50\%$), e que, portanto, constituem os maiores factores de vulnerabilidade.

Quadro 4.4. Síntese dos resultados obtidos pela aplicação das checklists 1 e 2 nos sectores dunares individualizados no sistema dunar de Peniche-Baleal (Primavera de 2008).

CHECKLIST 1					CHECKLIST 2			
	VULNERABILIDADE	VI (%)	PM (%)	VI/PM	VULNERABILIDADE	VM (%)	OTA (%)	AT (%)
S1	degradação da morfologia dunar (secção A=87,5%); pressão antrópica (secção D=68,8%)	68,5	55,6	1,2	ocorrência de formas de erosão (secção A=66,7%); ausência de dunas embrionárias (secção B=100%); ineficácia do ordenamento e gestão (secção E=60,0%)	60,3	75,0	100
S2	degradação da morfologia dunar (secção A=78,1% e C=75,0%); pressão antrópica (secção D=68,8%)	72,9	40,0	1,8	ocorrência de formas de erosão (secção A=91,7%); ausência de dunas embrionárias (secção B=100%); ineficácia do ordenamento e gestão (secção E=60,0%)	70,3	75,0	100
S3	degradação da morfologia dunar (secção A=75,0% e B=80,6%); pressão antrópica (secção D=62,5%)	71,1	25,0	2,8	ocorrência de formas de erosão (secção A=83,3%); ausência de dunas embrionárias (secção B=87,5%); ineficácia do ordenamento e gestão (secção E=70,0%)	66,5	75,0	50,0
S4	degradação da morfologia dunar (secção B=72,2% e C=65,0%)	62,4	11,1	5,6	ocorrência de formas de erosão (secção A=83,3%); ausência de dunas embrionárias (secção B=100%); ineficácia do ordenamento e gestão (secção E=70,0%)	62,3	50,0	50,0
S5	degradação da morfologia dunar (secção A=78,1% e C=72,5%); pressão antrópica (secção D=68,8%)	72,1	30,0	2,4	ocorrência de formas de erosão (secção A=66,7%); ausência de dunas embrionárias (secção B=100%); ineficácia do ordenamento e gestão (secção E=65,0%)	59,7	87,5	100
S6	degradação da morfologia dunar (secção A=84,4% e C=72,2%); pressão antrópica (secção D=88,9%)	75,0	38,9	1,9	ausência de dunas embrionárias (secção B=100%); degradação pelo uso (secção D=58,3%); ineficácia do ordenamento e gestão (secção E=60,0%)	58,7	87,5	100

A informação apresentada salienta que os maiores problemas de vulnerabilidade do sistema dunar advêm da:

- (i) degradação da morfologia dunar;
- (ii) pressão antrópica;
- (iii) ocorrência de formas de erosão;
- (iv) ausência de dunas embrionárias;
- (v) ineficácia do ordenamento e gestão.

Os sectores dunares mais vulneráveis correspondem aqueles localizados nos extremos oriental e ocidental do sistema dunar, nas proximidades dos núcleos urbanos de Peniche e Baleal, respectivamente, onde a pressão antrópica e a atractividade turística são mais elevadas devido ao maior desenvolvimento da actividade balnear e à proximidade de vários empreendimentos turísticos. Relembre-se que as praias da Gamboa e do Baleal Sul têm sido sucessivamente galardoadas com o prémio Bandeira Azul, condição que atrai veraneantes, turistas e desportistas.

O troço central do sistema dunar compreende os sectores dunares com menor nível de ordenamento e gestão. Nestes, apesar da sua elevada vulnerabilidade, verifica-se uma menor pressão antrópica devido à menor atractividade turística que exercem. Nestes, a largura do sistema dunar é maior, dissuadindo muitos utilizadores a atravessá-lo para aceder à praia o que se reflecte na sua maior preservação. Contudo, este facto significa que na eventualidade de se verificar um aumento na sua pressão antrópica e/ou atractividade turística, será muito provável que estes sectores experimentem um aumento da sua degradação.

Face ao exposto, será válido afirmar que todos os sistemas dunares individualizados no sistema dunar de Peniche-Baleal detêm uma elevada vulnerabilidade decorrente, sobretudo, da elevada pressão antrópica e da elevada atractividade turística a que é sujeito, e que resulta na sua degradação uma vez que as medidas de ordenamento e gestão implementadas revelam-se insuficientes e/ou ineficazes.

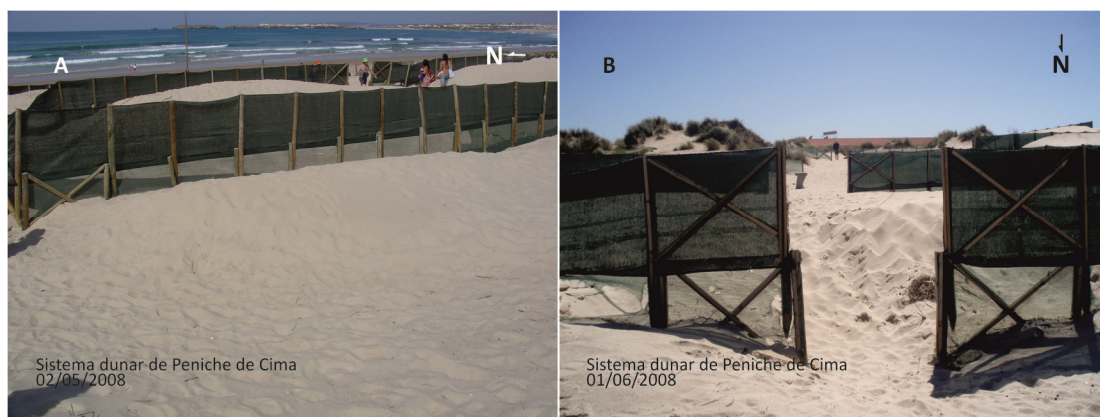
Com efeito, o concelho de Peniche está fortemente vocacionado para as actividades económicas ligadas ao turismo e lazer e isso reflecte-se na enorme diversidade de empreendimentos turísticos localizados na proximidade do sistema dunar. De acordo com dados do INE, referentes ao ano de 2009, a capacidade de alojamento dos estabelecimentos hoteleiros presentes no concelho foi de 840 camas disponíveis, verificando-se, nesse mesmo ano, cerca de 87 000 dormidas. É um número bastante significativo num concelho que possui uma população residente de 28 700 habitantes. Certamente o número de dormidas será mais expressivo na época balnear.

A estes números acresce ainda a oferta dos parques de campismo. Segundo foi possível apurar, apenas o Parque de Campismo Municipal de Peniche têm capacidade para 2 000 pessoas e encontra-se sempre lotado durante os meses de Verão.

As medidas de ordenamento e gestão implementadas no sistema dunar são pontuais e insuficientes, tendo em consideração a dimensão da área (1,06 km²) e a pressão antrópica, agravada pela atractividade turística. Limitam-se à presença de:

- (i) dois caminhos sobrelevados (com estrutura descontínua);
- (ii) duas escadas sobrelevadas;
- (iii) uma passagem sobrelevada;
- (iv) alguns estrados de madeira e plástico reciclado que assentam directamente sobre a superfície topográfica;
- (v) algumas armadilhas de areia na duna frontal e a sotavento desta, que nem sempre apresentam boas condições de manutenção, como já foi referido no capítulo anterior.

Adicionalmente, estas medidas carecem de complementaridade com outras de modo a reforçar a sua eficácia. Refira-se, a título exemplificativo, a necessidade de restrição de acesso e plantação de espécies de vegetação dunar em áreas onde se verifica acumulação eólica de sedimentos na sequência da instalação de armadilhas de areias. A este respeito, veja-se as Fotos 4.1. que ilustram claramente uma situação de discernimento imprudente uma vez que as armadilhas de areia foram instaladas de modo a salvaguardar um caminho não ordenado de acesso pedonal. Assim construídas, pouco contribuem para a mitigação da erosão da duna frontal.



Fotos 4.1. Área de instalação de armadilhas de areia com comprovada acumulação de sedimentos eólicos (A); Pormenor do caminho não ordenado de acesso pedonal existente junto às armadilhas de areia (B). Localização das fotos na Figura 4.1.

Importa, não menosprezar a gestão do sistema dunar de Peniche-Baleal e implementar medidas que efectivamente contribuam para garantir a sua preservação e conservação.

5. BREVE ABORDAGEM AO ORDENAMENTO E GESTÃO DE SISTEMAS DUNARES LITORAIS

Os sistemas dunares litorais desempenham, como foi referido no início desta dissertação, a importante função de constituírem, por excelência, uma protecção natural das terras emersas à acção erosiva das ondas. Esta função torna-se particularmente relevante no contexto da litoralização do território e da emergência da subida relativa do nível médio do mar uma vez que os sistemas dunares litorais constituem, muitas vezes, o único obstáculo entre o oceano e populações, bens e infraestruturas litorais. Contudo, de acordo com a opinião expressa por Davis & FitzGerald (2004), Schwartz (2005) e van der Meulen & Salman (1996), sabe-se que a crescente ocupação e uso antrópico dos sistemas dunares litorais tem conduzido à sua degradação e a graves problemas de erosão costeira.

Foi com esta preocupação que Governos nacionais e comunidade científica desenvolveram e aprofundaram conhecimento e técnicas que pudessem travar ou mitigar estes problemas de erosão costeira (MAOTDR, 2007).

Durante várias décadas, as acções de protecção foram concretizadas com a implementação de estruturas de engenharia/defesa costeira que pretenderam estabilizar o litoral impedindo a acção do oceano na mobilização dos sedimentos e na erosão costeira, com o intuito principal de proteger populações, bens e infraestruturas litorais (Andrade, 1997; Bird, 2008, 1994; Carter, 1988; Davis & FitzGerald, 2004; Dias, 2005, 1990; Ramos-Pereira, 2008a; Viles & Spencer, 1995; Veloso-Gomes, 2007). Destas, são exemplo os esporões, paredões, diques, quebra-mares destacados e enrocamentos, também designados por estruturas “pesadas” de engenharia/defesa costeira.

Os esporões são as estruturas de engenharia/defesa costeira mais disseminados no território nacional, como acontece no troço litoral Espinho – Cortegaça (com cerca de 9 km de extensão). Ferreira & Dias (1991) referem que em 1989, existia, em média, neste troço litoral, *um esporão por cada 650 m de linha de costa*.

Actualmente, vários autores, tais como Andrade (1997), Bird (2008), Carter (1988), Davis & FitzGerald (2004), Dias (2005, 1990), Freestone & Nordstrom (2001), Pye *et al* (2007a), Ramos-Pereira (2008a, 2004), Schwartz (2005), Veloso-Gomes (2007, 2002) e Viles & Spencer (1995), reconhecem-se o carácter prejudicial, com consequências negativas na erosão costeira, destas estruturas “pesadas” de engenharia/defesa costeira. *Por se tratarem de estruturas estáticas, rígidas, inseridas num meio que é profundamente dinâmico (o litoral), causam perturbações profundas nesse meio* (Dias, 2005).

Ferreira & Dias (1991) referem que a intensa artificialização do troço litoral Espinho – Cortegaça com o objectivo de proteger os núcleos urbanos aí existentes, foi responsável pelo recuo da linha de costa em cerca de 4,5 m/ano, no período de 1980-1989, atingindo valores extremos de 12,5 m/ano junto a Cortegaça, com localização mais meridional.

Próximo da Costa Nova do Prado, o significativo recuo da linha de costa em consequência da construção de vários esporões no troço litoral Aveiro – Mira, originou o desaparecimento quase total dos sistemas dunares (Dias, 2005).

Mais, a implementação deste tipo de estruturas importa custos bastante elevados. Tomando como exemplo o já referido caso do troço litoral Aveiro – Mira, Magalhães *et al* (2004) e Taborda *et al* (2005) estimam que os custos de construção de dois esporões com cerca de 220 m de comprimento, a Sul da Costa Nova do Prado, propostos pelo Instituto da Água, I.P. (INAG), rondaram os €4 000 000, o que traduz um custo de €9 000/m.

Impera a necessidade de recorrer a soluções menos dispendiosas e mais eficazes na protecção do litoral.

5.1. A PROTECÇÃO “LIGEIRA” DO LITORAL

Durante a década de 1990, assistiu-se a uma enorme mudança na abordagem dos problemas de erosão costeira. Esta mudança de mentalidade deveu-se ao aprofundamento do conhecimento da dinâmica natural dos sistemas litorais e à consciencialização ambiental da sociedade humana, o que permitiu encarar os problemas de erosão costeira numa concepção mais focada no uso sustentável dos sistemas litorais e na conservação e protecção de *habitats* e biodiversidade (Carter, 1988; Goudie, 2003; Martínez *et al*, 2004b; Pye *et al*, 2007b; van der Meulen & Udo de Haes, 1996; Schwartz, 2005).

Esta concepção “mais sustentável” foi também favorecida, como mencionam Carter (1988), Goudie (2003), Martínez *et al* (2004b), Pye *et al* (2007b), Schwartz (2005) e van der Meulen & Udo de Haes (1996), por alterações na legislação, principalmente a europeia, e pela adopção de medidas de ordenamento e gestão ajustadas e em conformidade com as estratégias nacionais de Gestão Integrada da Zona Costeira (GIZC).

Existem presentemente alternativas “mais sustentáveis” e menos dispendiosas, que encaram o litoral, e os sistemas dunares litorais, numa perspectiva holística e ecológica.

Vários autores, tais como Carter (1988), Dias (2005), Pye *et al* (2007b), Ramos-Pereira (2008a), USACE (2003) e Velosos-Gomes (2002) sugerem a alternativa de abandono ou não intervenção, isto é, deixar o litoral evoluir naturalmente. Dias (1990) e Velosos-Gomes (2002) referem que

esta solução será adequada em situações em que não existam pessoas, bens ou infraestruturas em risco, ou quando os custos de intervenção são muito superiores ao valor das infraestruturas que se pretende proteger. Segundo Dias (1990), *esta alternativa, obviamente polémica e controversa, não tem sido adoptada com frequência.*

Outra alternativa é a de protecção “ligeira” do litoral concretizada por intervenções menos agressivas e mais harmoniosas, que se traduzem na alimentação artificial de praias e na protecção e reconstituição de dunas litorais, como mencionam Andrade (1997), Bird (2008), Carter (1988), Davis & FitzGerald (2004), Goudie (2003), Nordstrom (2000), Paskoff (1998), Pye *et al* (2007b), Ramos-Pereira (2008a), Schwartz (2005), USACE (2003), van der Meulen & Salman (1996), Veloso-Gomes (2007) e Viles & Spencer (1995).

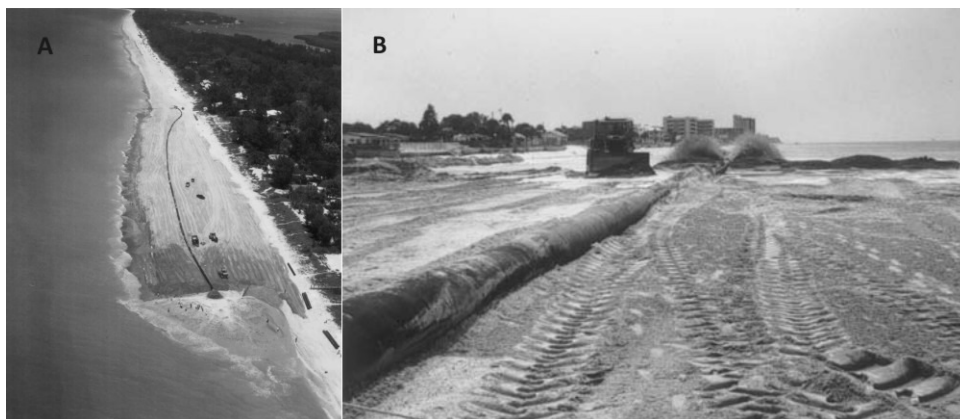
5.1.1. A ALIMENTAÇÃO ARTIFICIAL DE PRAIAS

A alimentação artificial de praias é uma técnica que consiste no fornecimento artificial de sedimentos, em praias que sofrem erosão costeira severa de modo a restaurar o seu perfil original.

O método mais comum de obter os sedimentos é através da dragagem da plataforma continental, do aproveitamento de dragagens portuárias, da transposição (*bypassing*) dos sedimentos acumulados a barlamar de esporões ou da extracção de inertes na plataforma litoral (Bird, 2008; Carter, 1988; Davis & FitzGerald, 2004; Dias, 1990; Goudie, 2003; Nordstrom, 2000; Schwartz, 2005; Viles & Spencer, 1995). Dias (1990) refere que *tais acções, para serem eficazes, devem ter em atenção especial as características dos sedimentos*, nomeadamente a dimensão e a natureza do material. Estas características dos sedimentos deverão ser idênticas ou semelhantes às originais de modo a aumentar o tempo de residência do volume de sedimentos, como expressa Ramos-Pereira (2008a).

O processo de alimentação artificial de praia é geralmente realizado com recurso a dragagem de sedimentos da plataforma continental e à sua mobilização mecânica de modo a moldar a nova configuração da praia. Vejam-se as Fotos 5.1. que ilustram o aludido procedimento.

De acordo com Davis & FitzGerald (2004), Nordstrom (2000) e Ramos-Pereira (2008a), a alimentação artificial de praias é realizada desde o início do século XX, mas tornou-se mais comum a partir da década de 1950 nos Estados Unidos da América (EUA), e mais tarde na Europa, na década de 1960. Generalizou-se a partir da década de 1980 em países como os EUA, Alemanha, Austrália, Bélgica, Brasil, Cuba, Dinamarca, França, Inglaterra, Japão, Nova Zelândia, Portugal e Rússia (Schwartz, 2005).



Fotos 5.1. Dragagem de sedimentos da plataforma continental através de tubagem metálica submarina, aquando da alimentação artificial da praia de Captiva Beach (Florida, EUA) (A); Pormenor da mobilização mecânica dos sedimentos (B) (Retirado de Schwartz, 2005).

Inicialmente os trabalhos de alimentação artificial de praias foram realizados sem um verdadeiro acompanhamento técnico e científico o que restringiu em grande medida o seu êxito (Davis & FitzGerald, 2004). Actualmente, a realização destes trabalhos importa um profundo conhecimento local da dinâmica litoral e dos seus elementos forçadores (Ramos-Pereira, 2008a).

Schwartz (2005) menciona que a primeira intervenção deste tipo foi realizada em 1922, na praia de Coney Island (New York, EUA). O mesmo autor refere que foram dragados do porto de New York cerca de 1 000 000 m³ de sedimentos que foram depois transportados para a praia. Após este caso pioneiro outros lhe seguiram por todo o território dos EUA.

Um exemplo de sucesso é o de Miami Beach (Florida, EUA). Carter (1988) e Davis & FitzGerald (2004) mencionam que este troço litoral com cerca de 18 km de extensão, intensamente ocupado por empreendimentos turísticos, esteve sujeito a forte erosão costeira que conduziu ao quase desaparecimento da praia. No período de 1976-1982, foram depositados 17 700 000 m³ de sedimentos dragados da plataforma continental para reconstituir o perfil da praia com 200 m e criar uma pequena duna, posteriormente estabilizada com vegetação dunar (Foto 5.2.). O custo desta intervenção foi estimado em \$67 milhões de US dólares, como mencionam Carter (1988), Davis & FitzGerald (2004), USACE (2003) e Schwartz (2005). Mas, segundo Carter (1988), tratou-se de uma pequena importância a pagar pela protecção e salvaguarda de propriedade e infraestruturas no valor de \$5 biliões de US dólares.

Em Portugal, Ramos-Pereira (2008a) refere como exemplo pioneiro o projecto de alimentação artificial da praia do Tamariz (Estoril) onde, na década de 1950, foram depositados cerca de 15 000 000 000 m³ de areia.



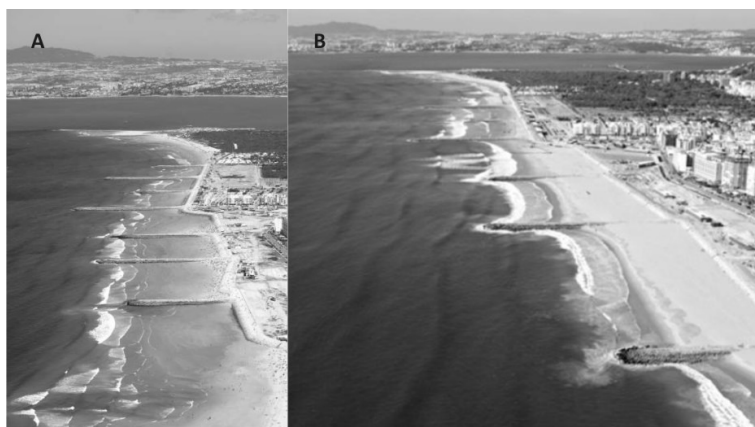
Fotos 5.2. Miami Beach (Florida, EUA) antes (A) e depois (B) dos trabalhos de alimentação artificial da praia (Retirado de Schwartz, 2005).

A praia da Rocha (Portimão) foi também submetida ao fornecimento artificial de sedimentos na década de 1970. De acordo com Andrade (1997) e Viles & Spencer (1995), neste troço litoral com cerca de 1 km de extensão, foram depositados 900 000 m³ de sedimentos dragados do porto de Portimão de modo a reconstituir o perfil de praia com cerca de 100 m. Nos anos seguintes verificou-se alguma erosão e, em 1983, foram depositados mais 150 000 m³ de sedimentos.

A praia perdura até hoje e é apontado como um exemplo de sucesso pela comunidade científica, como mencionam Dias (1990), Ramos-Pereira (1992), van der Meulen & Salman (1996) e Viles & Spencer (1995). Curiosamente, o mesmo tipo de intervenção numa praia contígua, a Praia dos Três Castelos, revelou-se um fracasso. Psuty & Moreira (1992 *in* Viles & Spencer, 1995) monitorizaram a intervenção na Praia dos Três Castelos e afirmam que o volume de sedimentos fornecido (200 000 m³) foi erodido a uma taxa anual de erosão de 15-20%, e em cerca de cinco anos a praia retomou a sua configuração inicial.

Um outro exemplo português, mais recente, é o ocorrido no troço litoral da Costa da Caparica – Cova do Vapor, no período de 2007-2009. Veloso-Gomes *et al* (2009) refere que neste troço litoral com cerca de 2 km de extensão, foram depositados cerca de 3 000 000 m³ de sedimentos dragados do porto de Lisboa com a finalidade de reconstituir a praia e proteger as áreas urbanas (Foto 5.3.). Segundo os supracitados autores, a monitorização destas intervenções está em curso de modo a determinar o seu sucesso e a estimar tempo de residência do volume de sedimentos.

Relativamente aos custos monetários destas intervenções, Davis & FitzGerald (2004) afirmam que o custo total de execução de projectos de alimentação artificial de praias se situa na ordem dos \$3 a \$13 US dólares/m³. Schwartz (2005), por sua vez, afirma que os custos podem oscilar entre os \$3 e \$15 US dólares/m³.



Fotos 5.3. Costa da Caparica antes (A) e depois (B) dos trabalhos de alimentação artificial da praia (Retirado de INAG e Veloso-Gomes *et al*, 2009, respectivamente).

Magalhães *et al* (2004) e Taborda *et al* (2005), tomando como exemplo o troço litoral Quarteira – Vale do Lobo, com cerca de 1,4 km de extensão, afirmam que o custo da execução do projecto de alimentação artificial de praias realizado em 1998, no qual foram depositados 600 000 m³ de sedimentos dragados da plataforma continental, comportou o montante de €2 400 000 o que se traduz num custo de €4/m³.

De acordo com a opinião expressa por Ramos-Pereira (2008a), Pye *et al* (2007b) e Schwartz (2005), a alimentação artificial de praias tem por objectivos:

- (i) aumentar a extensão da praia e do sistema dunar (quando presente);
- (ii) avançar a linha de costa;
- (iii) reduzir os impactos das recorrentes perigosidades naturais, exemplo de erosão marinha, galgamentos oceânicos e tempestades;
- (iv) aumentar a área recreativa da praia

Esta técnica de protecção “ligeira” do litoral tem sido bastante utilizada na protecção de troços litorais com intensa ocupação antrópica, como mencionam Magalhães *et al* (2004), Nordstrom (2000), Schwartz (2005) e Taborda *et al* (2005).

Vários autores citados em Schwartz (2005) referem que as vantagens desta técnica residem no facto de:

- (i) ser menos dispendiosa que estruturas “pesadas” de engenharia/defesa costeira;
- (ii) ser mais sustentável e ecológica;
- (iii) disponibilizar sedimentos para serem mobilizados pelo vento;
- (iv) usufruir das dragagens portuárias;
- (v) contribuir para o balanço sedimentar litoral;
- (vi) valorizar os processos naturais;

(vii) contribuir para a recuperação de *habitats* e biodiversidade.

5.1.2. A PROTECÇÃO E RECONSTITUIÇÃO DE DUNAS LITORAIS

Os trabalhos de protecção e reconstituição de dunas litorais detêm, cada vez mais, relevância e prioridade no contexto do ordenamento e gestão litoral. De acordo com Carter (1988), Davis & FitzGerald (2004), Laranjeira (1997), Matias *et al* (2004), Paskoff (1998), Schwartz (2005), USACE (2003), Veloso-Gomes (2007), Viles & Spencer (1995) e Woodhouse (1978), os sistemas dunares têm sido alvo de medidas de protecção e reconstituição concretizadas pela alimentação ou construção artificial de dunas em complementaridade com o repovoamento vegetal, a colocação de armadilhas de areia, o condicionamento do acesso a áreas vulneráveis e o ordenamento dos caminhos de acesso pedonal.

5.1.2.1. A ALIMENTAÇÃO E CONSTRUÇÃO ARTIFICIAL DE DUNAS

A alimentação artificial de dunas consiste na reconstituição do perfil da frente dunar ou na suavização do seu declive recorrendo à deposição de sedimentos, a meia vertente e junto à sua base (Laranjeira, 1997). Outros autores, tais como Nordstrom (2000), Pye *et al* (2007b), USACE (2003) e van der Wal (1998 *in* Matias *et al*, 2004), sugerem que os sedimentos podem também ser depositados na ante-praia, no topo da duna frontal ou a sotavento da duna frontal (Figura 5.1.).

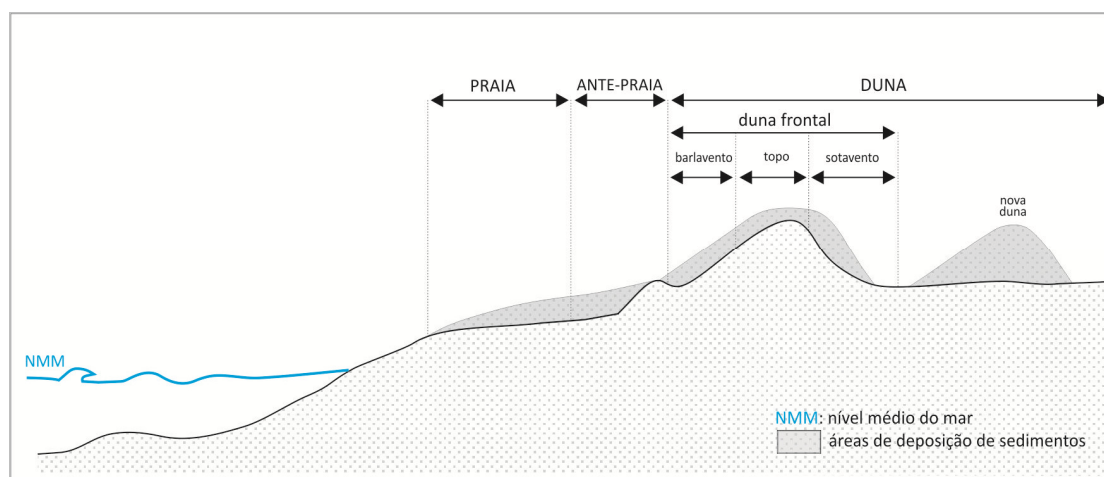


Figura 5.1. Possíveis áreas de deposição de sedimentos em projectos de alimentação e construção artificial de dunas (Adaptado de Nordstrom, 2000).

Nordstrom (2000) sugere que os projectos de alimentação artificial de dunas podem ser realizados em simultâneo com a alimentação artificial de praias ou em intervenções mais localizadas onde exista a necessidade de fortalecer o sistema dunar, nomeadamente em áreas com presença de brechas e *blowouts*.

A construção artificial de dunas consiste na *criação de um aterro, com uma forma semelhante à de uma duna frontal ou cordão litoral, adjacente à praia* (Laranjeira, 1997). Pode ser realizada imediatamente a sotavento de uma duna frontal degradada pré-existente, reforçando a sua capacidade de defesa costeira, ou em locais sem existência de duna frontal onde a sua presença será necessária, como menciona Pye *et al* (2007b), como é possível constatar na Figura 5.1.. Estas dunas artificiais, idealizadas para resistirem à erosão marinha, são denominadas por Paskoff (1998) de "muralhas de areia".

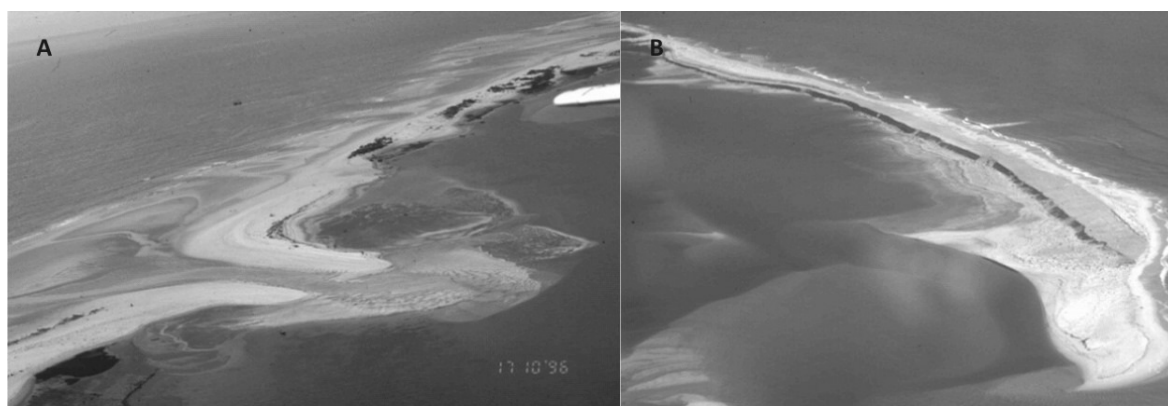
Os sedimentos para tais intervenções (alimentação artificial de dunas e construção artificial de dunas) podem, à semelhança da alimentação artificial de praias, ser obtidos da dragagem da plataforma continental, do aproveitamento de dragagens portuárias, da transposição (*bypassing*) dos sedimentos acumulados a barlamar de esporões ou da extracção de inertes na plataforma litoral mas, é também comum utilizar os sedimentos eólicos transgressivos que se depositam em estradas ou em áreas mais interiores da plataforma litoral (Matias *et al*, 2005, 2004; Norsdstrom, 2000).

Na Holanda a protecção e reconstituição de dunas litorais, principalmente através da sua construção artificial, é uma prioridade na estratégia nacional de defesa costeira, como referem Pye *et al* (2007b) e Viles & Spencer (1995). van der Laan *et al* (1997) afirma que cerca de 1/3 do território holandês está abaixo do nível médio do mar e as dunas artificiais prolongam-se por largos quilómetros ocupando 90% dos 350 km de linha de costa. As dunas são construídas com altura e largura suficientes (8 m de altura, acima do *datum* local de referência – *Normaal Amsterdams Peil* (NAP), por 100 m de largura) para suportarem os impactos de uma tempestade com probabilidade de ocorrência de uma vez em 10 000 anos (Pye *et al*, 2007b; van der Laan *et al*, 1997; van der Putten & Kloosterman, 1991). De acordo com os mencionados autores, estas preocupações generalizaram-se após a catástrofe que ocorreu na sequência do *storm surge* do Mar do Norte, em Janeiro de 1953.

Paskoff (1998) refere que na costa sudoeste francesa (região de Aquitaine) a construção de dunas artificiais, idealizadas com forma e dimensão particulares, iniciou-se no século XIX com a finalidade de deter ou mitigar a erosão costeira. Segundo este autor, estas dunas artificiais iniciam-se na berma da praia e prolongam-se por cerca de 180 m de comprimentos atingindo 12-15 m de altura.

Em Portugal, refira-se a título exemplificativo, o caso da Península de Cacela, localizada no limite oriental do sistema de ilhas-barreiras da Ria Formosa (Algarve). De acordo com Dias *et al* (1999) e Matias *et al* (2005, 2004), a Península de Cacela, sujeita a forte erosão da frente dunar devido

à ocorrência de galgamentos oceânicos, foi severamente erodida no Inverno de 1995-1996 o que originou a abertura de uma barra com cerca de 35 m de largura no seu troço central. Em consequência deste evento realizaram-se, entre Outubro de 1996 e Fevereiro de 1997, os trabalhos de construção artificial da duna frontal e encerramento da barra para proteger o núcleo urbano próximo e os importantes viveiros de ostras e amêijoas presentes na lagoa costeira. Foram depositados no sistema, ao longo de 2 km de extensão, cerca de 325 000 m³ de sedimentos dragados da barra de Lacém e da lagoa costeira, que permitiram também reconstituir a duna para atingir 5,5 m de altura. Dias *et al*, (1999) e Matias *et al* (2005) afirmam que a posterior monitorização desta intervenção, entre 1997-1999, reconheceu que, apesar da perda de cerca de 32% dos sedimentos, a vulnerabilidade do sistema à ocorrência de galgamentos oceânicos foi consideravelmente reduzida (Fotos 5.4.).



Fotos 5.4. Troço ocidental da Península de Cacela antes (A) e depois (B) dos trabalhos de reconstituição da duna frontal e de encerramento da barra (Retirado de Matias *et al*, 2005).

5.1.2.2. O REPOVOAMENTO VEGETAL E ARMADILHAS DE AREIA

Uma vez estabelecidas as dunas, implementam-se medidas de retenção e fixação dos sedimentos eólicos, com medidas de repovoamento vegetal e a colocação de armadilhas de areia, que permitem também estimular desenvolvimento dunar, como mencionam Carter (1988), Davis & FitzGerald (2004), Nordstrom (2000), Schwartz (2005), Viles & Spencer (1995) e Woodhouse (1978).

O **repovoamento vegetal** consiste na plantação de espécies dunares autóctones adequadas que favorecem a estabilização e desenvolvimento dunar (Carter, 1988; Laranjeira, 1997). Woodhouse (1978) refere que é uma técnica muito utilizada em vários países, sendo considerada uma opção económica, eficaz e esteticamente agradável na protecção dos sistemas dunares.

De acordo com a opinião expressa por Carter (1988), Maun (2009), Ranwell (1972), Schreck Reis & Freitas (1998) e Schreck Reis *et al* (2005), a espécie *Ammophila* é particularmente adequada pois possui um sistema radicular composto por raiz e rizoma que

permite a propagação vertical e horizontal da planta estimulando a retenção de areia e o desenvolvimento de novas dunas.

Na Europa a espécie *Ammophila arenaria* é dominante da duna branca, sendo por isso utilizada no repovoamento vegetal (Carter, 1988; Maun, 2009; Ranwell, 1972; Schreck Reis & Freitas, 1998; Schreck Reis *et al*, 2005; van der Laan *et al*, 1997). Maun (2009) refere que devido à sua reconhecida eficácia na estabilização e desenvolvimento dunar foi introduzida em sistema dunares na África do Sul, Argentina, Austrália, EUA (Califórnia) e Nova Zelândia.

Em Portugal, inversamente ao que acontece noutros países da Europa, as plantas são geralmente retiradas de uma “área dadora” uma vez que, segundo Antunes do Carmo *et al* (2005), Schreck Reis & Freitas (2002) e Schreck Reis *et al* (2005), não existe uma verdadeira oferta destas espécies no mercado nacional.

Em Espanha (Loredo, Cantábria), segundo foi possível apurar, existe uma empresa estatal propriedade da *Dirección General de Costas, Ministerio de Medio Ambiente*, que produz com bastante sucesso plantas de espécies dunares para posterior utilização em projectos nacionais de protecção “ligeira” do litoral (Gómez-Pina *et al*, 2002). Os mesmos autores afirmam que nestes viveiros é possível obter plantas a custos económicos, cerca de €0,19/planta.

Devido aos muitos factores que podem influenciam o sucesso ou insucesso de um projecto de repovoamento vegetal (geomorfologia dunar, disponibilidade de sedimentos, condições climáticas, clima de agitação marítima; pressão antrópica), diversos autores citados em Carter (1988) aconselham (i) dispor as plantas em quadrícula diagonal com dimensões de 50x50 cm; (ii) aumentar a densidade de plantas em áreas mais erodidas; (iii) acondicionar as folhas das plantas para evitar danos pelo vento; (iv) dispor os rizomas na posição vertical; (v) fertilizar do solo.

Referindo de novo o caso holandês, desde o século XV que existem referências à plantação de *Ammophila arenaria* nos sistemas dunares litorais para mitigar a erosão costeira (Pilon, 1988 *in* van der Laan, 1997). Um exemplo de um projecto de repovoamento vegetal em grande escala foi realizado na década de 1980, aquando dos trabalhos de protecção e reconstituição de dunas da ilha de Vorne (Sul de Holanda) para fins de defesa costeira, como mencionam van der Laan (1997) e van der Putten & Kloosterman (1991). Aqui, foram utilizadas plantas, rizomas e sementes de *Ammophila arenaria* para a plantação de uma área com 120 ha. A posterior monitorização dos trabalhos, no período de 1986-1992, permitiu determinar que as diferentes técnicas de plantação utilizadas geraram plantas saudáveis e resistentes que foram bastante eficazes na estabilização do sistema dunar.

Em Portugal, refira-se o caso do sistema dunar de Leirosa (Figueira da Foz). Antunes do Carmo *et al* (2005), Schreck Reis & Freitas (2002) e Schreck Reis *et al* (2005) referem que, em consequência das obras de implantação de um emissário submarino de rejeição de águas residuais de origem industrial, o sistema dunar entrou em acelerada erosão. Para mitigar este problema foi concebido um projecto de protecção e reconstituição do sistema dunar que, para além da sua alimentação artificial, incluiu o repovoamento vegetal da face barlavento e sotavento da duna frontal. Os trabalhos de repovoamento vegetal, realizados por jardineiros experientes, iniciaram-se em Março de 2000 com a plantação de cerca de 23 000 plantas de *Ammophila arenaria* retiradas de sistemas dunares contíguos, localizados a Sul de Leirosa, e abrangeram uma área de 3 000 m². As plantas foram dispostas em quadrículas diagonais de 50x50 cm, e foi também utilizado adubo e rega para assegurar o sucesso da adaptação das plantas (Fotos 5.5.). Os mencionados autores referem que a monitorização do sistema dunar permitiu observar a estabilização dos sedimentos e o aparecimento de outras espécies de vegetação dunar, surgidas espontaneamente (em Maio de 2002 existiam 31 novas espécies para além da *Ammophila arenaria*).



Fotos 5.5. Repovoamento vegetal do sistema dunar de Leirosa (A); Aparecimento de vegetação dunar espontânea (B) (Retirado de Antunes do Carmo *et al*, 2005).

As **armadilhas de areia** são estruturas verticais, com cerca de 1-2 m de altura acima do solo, que ao funcionarem como obstáculos à circulação do vento permitem captar e acumular os sedimentos eólicos, ao mesmo tempo que reduzem a velocidade do vento, minimizando o seu potencial erosivo (Carter, 1988). De acordo com Carter (1988), Davis & FitzGerald (2004), Goudie (2005), Viles & Spencer (1995) e Woodhouse (1978), podem ser construídas utilizando (i) ramos de árvores ou outro material vegetal (exemplo de galhos secos de salgueiro); (ii) ripados de madeira; (iii) malha sintética suportada por postes de madeira.

A eficácia das armadilhas de areia depende da sua porosidade. Segundo a pesquisa de Phillips & Willets (1977 *in* Carter, 1988) a porosidade destas estruturas deve situar-se nos 40%,

pois se for inferior a retenção dos sedimentos eólicos faz-se apenas a barlavento da armadilha e se for superior não existe retenção.

Carter (1988) refere que a deposição dos sedimentos ocorre numa área que dista em oito vezes a altura da estrutura, assim uma armadilha de areia com 2 m de altura possibilita a deposição de sedimentos até uma distância de 16 m a contar da sua localização. Estas estruturas dispõem-se perpendicularmente à direcção do vento dominante e quando eficazes, os sedimentos podem acumular-se até soterrar a estrutura, permitindo erguer nova armadilha de areia para desenvolver a altura da duna, como mencionam Carter (1988) e Davis & FitzGerald (2004). Veja-se a Figura 5.2. que ilustra o efeito das armadilhas de areia no crescimento horizontal e vertical das dunas.

Em áreas onde a direcção do vento é variável, Savage (1978 *in* Carter, 1988) e Willetts & Phillips (1978 *in* Carter, 1988) aconselham dispor as armadilhas de areia em padrão geométrico (exemplo de ziguezague, quadrado) de modo a maximizar a capacidade de retenção dos sedimentos eólicos.

Davis & FitzGerald (2004) salientam que no Texas (EUA), a população local costuma colocar na berma da praia os seus velhos pinheiros (naturais!) de Natal, contribuindo de uma forma simples, económica e eficaz para a reconstituição das dunas. Os mesmos autores afirmam ainda que na Holanda, a população aposentada residente em áreas litorais é mobilizada (e remunerada!) para auxiliar na colocação de armadilhas de areia construídas com ramos de árvores e arbustos que são soterrados junto à base da frente dunar.

Estas estruturas são bastante eficientes na retenção de sedimentos e tornam-se relativamente económicas quando se utilizam materiais disponíveis localmente.

Em Portugal, a colocação de armadilhas de areia em sistemas dunares tornou-se bastante comum nos últimos anos. Refira-se novamente o caso da Península de Cacela. Segundo Matias *et al* (2005, 2004), em 1997, após a reconstituição da duna frontal e o aparecimento de vegetação dunar, foram instalados no troço ocidental da península, numa extensão de cerca de 1 km, ripados de madeira com 1,3 m de altura dispostos em padrão geométrico tipo quadrado com cerca de 43 m². A colocação dos ripados de madeira teve como objectivo reter os sedimentos eólicos de modo a contribuir para o desenvolvimento da frente dunar. A monitorização do sistema dunar, com recurso a perfis realizados mensalmente entre 1997-1999, indicou que foram acumulados cerca de 4 000 m³ de sedimentos e que as dunas, em alguns troços, aumentaram 1,2 m em altura, como menciona Matias *et al*, 2004.

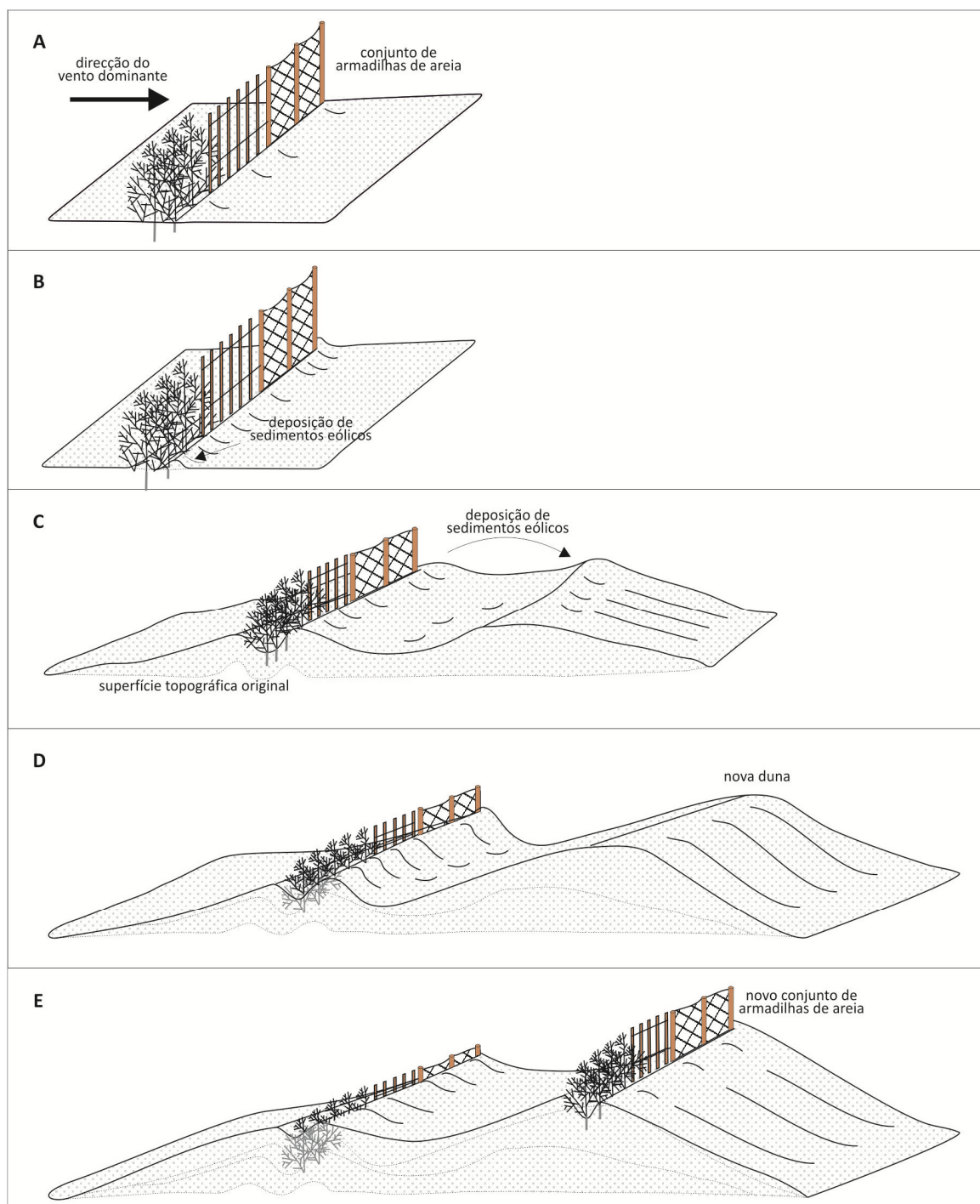


Figura 5.2. Efeito das armadilhas de areia no crescimento horizontal e vertical das dunas pela retenção e deposição de sedimentos eólicos (Adaptado de Carter, 1988).

5.1.2.3. O CONDICIONAMENTO DE ÁREAS VULNERÁVEIS E O ORDENAMENTO DE CAMINHOS DE ACESSO PEDONAL

Após a reconstituição, estabilização e fixação das dunas impera a necessidade de implementar medidas de protecção e ordenamento dos sistemas dunares. Estas medidas passam pelo condicionamento do acesso a áreas vulneráveis e pelo ordenamento dos caminhos de acesso pedonal à praia pelo sistema dunar, que permitem reduzir o impacto negativo da utilização

antrópica, como sugerem vários autores tais como, Carter (1988), Davis & FitzGerald (2004), Nordstrom (2000), Schwartz (2005) e Viles & Spencer (1995).

O **condicionamento do acesso a áreas vulneráveis** consiste, como o nome indica, na restrição/limitação do acesso a áreas vulneráveis ou degradadas, onde o limiar de resiliência corre o risco de ser ultrapassado, como mencionam Carter (1988), Duarte *et al* (1999), Ferreira & Laranjeira (2000), Laranjeira (1997), Pye *et al* (2007b), Ramos-Pereira & Laranjeira (2000) e Ramos-Pereira *et al* (2000).

Carter (1988), Pye *et al* (2007b) e Davis & FitzGerald (2004) expressam que o condicionamento destas áreas tem como objectivos:

- (i) evitar o pisoteio humano;
- (ii) evitar a circulação de veículos motorizados;
- (iii) evitar a destruição da vegetação dunar.

A restrição/limitação do acesso faz-se geralmente por meio da colocação de vedações construídas com ramos de árvores ou outro material vegetal (exemplo de galhos secos de salgueiro), ripados de madeira, postes de madeira (pinho ou eucalipto) unidos por malhas metálicas ou cordas, ou ainda pela plantação de vegetação arbustiva densa e intransponível.

O **ordenamento dos caminhos de acesso pedonal** consiste na abertura em pontos estratégicos e colocação de passadeiras (estrados) ou caminhos sobrelevados (Laranjeira, 1997; Pye *et al*, 2007b).

As passadeiras são estruturas de madeira ou plástico que se colocam directamente sobre a superfície topográfica e podem ser temporárias se forem utilizadas apenas durante a época balnear (MMA, 2007). Os caminhos sobrelevados são estruturas geralmente construídas em madeira (pinho ou eucalipto), assentes em estacaria de fundação e sobrelevadas, no mínimo, a cerca de 50 cm em relação à cota mais elevada da superfície topográfica, conforme consta na Resolução do Conselho de Ministros nº 11/2002, artigo 4º, alínea bb.

São particularmente necessárias em sistemas dunares muito vulneráveis e com forte pressão de uso antrópica decorrente do acesso à praia através do campo dunar (Laranjeira, 1997). Os caminhos sobrelevados são mais vantajosos porque permitem o acesso ordenado à praia sem comprometer a regeneração natural do sistema dunar uma vez que não estão directamente sobre as dunas impedindo o livre-trânsito das areias eólicas e o desenvolvimento da vegetação.

De acordo com Carter (1988), MAOTDR (2007) e Veloso-Gomes (2007) estas estruturas devem ser dimensionadas para respeitar a capacidade de carga¹² do sistema, *i.e.*, o grau de desenvolvimento de uso de uma actividade antrópica que o sistema biofísico pode sustentar perpetuamente sem que experimente uma degradação ambiental irreversível, e a intensidade de uso estimada.

A este propósito Carter (1988) refere que a capacidade de carga dos sistemas dunares litorais deverá situar-se em 1 pessoa/100 m². Este valor salienta, de maneira excepcional, a reduzida resiliência dos sistemas dunares à acção antrópica.

É comum recorrer a este tipo de medidas quando se realizam projectos de protecção e reconstituição em sistemas dunares onde se procura compatibilizar a função recreativa com a conservação e protecção da natureza.

Gómez-Pina *et al* (2002) descrevem vários casos no território espanhol onde foram implementadas vedações e caminhos sobrelevados em sistemas dunares sujeitos a graves problemas de erosão e degradação antrópica. Refira-se o exemplo das dunas de La Lanzada (Pontevedra, Galiza), Isla Cristina (Huelva, Andaluzia) e Guadalquiron (Cádiz, Andaluzia).

O já aludido exemplo português do sistema dunar da Península de Cacela foi complementado com duas passagens sobrelevadas de acesso pedonal à praia (Matias *et al*, 2005).

Antunes do Carmo *et al* (2005) também refere a construção de uma vedação de madeira para proteger a área plantada com *Ammophila arenaria* e uma escada sobrelevada de acesso pedonal à praia, no sistema dunar de Leirosa (Fotos 5.6.).



Fotos 5.6. Vedações de madeira no sistema dunar de Leirosa (A); Escadas sobrelevada de acesso pedonal (B) (Retirado de Antunes do Carmo *et al*, 2005).

¹² Informação oral da Professora Doutora Ana Ramos-Pereira na Cadeira de Dinâmica de Sistemas Litorais (ano lectivo de 2004-2005).

Os trabalhos de protecção e reconstituição de dunas litorais (i) alimentação e construção artificial de dunas; (ii) repovoamento vegetal; (iii) armadilhas de areia; (iv) condicionamento do acesso a áreas vulneráveis; (v) ordenamento dos caminhos de acesso pedonal; começaram a ser praticados na década de 1960 e, desde então, a evolução do conhecimento científico tem contribuído para o seu aperfeiçoamento e eficácia, permitindo a sua difusão e sucesso (Davis & FitzGerald, 2004).

Segundo a opinião expressa Davis & FitzGerald (2004), Pye *et al* (2007b) e Schwartz (2005), a aplicação destas medidas tem por objectivos fundamentais:

- (i) estimular o desenvolvimento de sistemas dunares;
- (ii) mitigar os impactos decorrentes da erosão costeira e da degradação antrópica.

Actualmente existe vários documentos, relatórios técnicos e guias metodológicos que fundamentam os principais aspectos técnicos de implementação destas medidas. O relatório produzido por Woodhouse (1978) foca principalmente os aspectos relacionados com o repovoamento vegetal e as armadilhas de areia. Os manuais europeus do *British Trust for Conservation Volunteers* (BTCV, 2001), *Scottish Natural Heritage* (SNH, 2000) e *Ministerio de Medio Ambiente* (MMA, 2007) apresentam, numa linguagem acessível, várias técnicas de protecção e reconstituição de sistemas dunares, sugerem boas práticas para o ordenamento e gestão de sistemas dunares e descrevem possíveis vantagens e desvantagens. Os relatórios técnicos produzidos por Pye *et al* (2007a, 2007b) no âmbito da cooperação entre o *Department for Environment Food and Rural Affairs* (DEFRA) e a *Environmental Agency* (EA) *Flood and Coastal Erosion Risk Management R&D Programme*, identificam estratégias e técnicas que podem ser usadas no ordenamento e gestão de sistemas dunares focadas na defesa costeira contra as inundações costeiras. O *Coastal Engineering Manual* produzido pelo *United States Army Corps of Engineers* (USACE, 2003) descreve vários métodos e técnicas de protecção do litoral, constituindo um documento de referência.

Como foi referido no início desta dissertação, os sistemas dunares litorais exercem grande atractividade sobre populações, principalmente durante a época balnear.

A **sensibilização ambiental** e responsabilização pública serão importantes para garantir o sucesso de qualquer projecto de protecção “ligeira” do litoral como mencionam vários autores, tais como Carter (1988), MAOTDR (2007), Gomes & Ramos-Pereira (1996), Pye *et al* (2007b) e van der Meulen & Salman (1996).

Acções de sensibilização ambiental concretizadas (i) pela colocação de painéis informativos junto a estradas de acesso, apoios de praia e áreas intervencionadas; (ii) pela realização de sessões de

esclarecimento abertas ao público, evidenciando a importância do património ambiental e corroborem a importância da sua preservação; (iii) pela mobilização do público para participar nas acções de preservação do sistema dunar; podem contribuir para o conhecimento e compreensão da dinâmica dos sistemas litorais e das condições necessárias para que estes continuem a funcionar, chamando também a atenção para os comportamentos que podem pôr em risco esse funcionamento. Gomes & Ramos-Pereira (1996) referem que estas acções podem ser incentivadas ou concretizadas pela administração regional, autarquias e grupos ambientais.

Será igualmente importante estabelecer planos de monitorização, *através de metodologias inovadoras, uniformes e abrangentes, incluindo indicadores validados*, como é sugerido no relatório *Bases para a Estratégia de Gestão Integrada da Zona Costeira Nacional* (MAOTDR, 2007). Os planos de monitorização permitem (i) detectar com eficiência o sucesso ou insucesso das intervenções implementadas; (ii) avaliar as alterações no sistema; (iii) avaliar a necessidade de proceder a ajustes; (iv) programar novos projectos (MAOTDR, 2007; Schwartz, 2005).

5.2. A PROPOSTA DE ORDENAMENTO E GESTÃO DO SISTEMA DUNAR DE PENICHE-BALEAL

O sistema dunar Peniche-Baleal encontra-se protegido por vários instrumentos legais, nos quais possui diferentes estatutos de protecção:

- (i) REN (instituída pelo Decreto-Lei nº 321/83 de 5 de Julho e alterada pelos Decreto-Lei nº 93/90 de 19 de Março e Decreto-Lei nº 166/2008 de 22 de Agosto);
- (ii) PDM de Peniche (Resolução do Conselho de Ministros nº 139/95 de 16 de Novembro);
- (iii) POOC Alcobaça-Mafra (Resolução do Conselho de Ministros nº 11/2002 de 17 de Janeiro);
- (iv) Rede Natura 2000 Sítio Peniche/Santa Cruz PTCON0056 (Resolução do Conselho de Ministros nº 76/00 de 5 de Julho).

Com efeito, a REN é bastante proibitiva relativamente aos usos e acções antrópicas em dunas litorais, que se revelam contrários aos objectivos de protecção ecológica e ambiental e de prevenção e redução de riscos naturais preconizados por aquele instrumento legal. A REN apenas autoriza (i) *a beneficiação de infraestruturas portuárias e de acessibilidade marítimas*; (ii) *a implementação de estações meteorológicas e rede sísmica digital*; (iii) *o desassoreamento, estabilização de taludes e de áreas em risco de erosão, nomeadamente muros de suporte e obras de correcção torrencial*; (iv) *acções de controlo e combate a agentes bióticos*; (v) *acções de controlo de vegetação espontânea decorrentes de exigências legais no âmbito da aplicação do regime da condicionalidade da política agrícola comum*; (vi) *a implementação de equipamentos e apoios de praia, bem como infraestruturas associadas à utilização de praias costeiras*; conforme consta no Anexo II da Declaração de Rectificação nº 63-B/2008 de 21 de Outubro de 2008.

Apesar da forte protecção legal, a elevada vulnerabilidade e degradação que sistema dunar de Peniche-Baleal exhibe, comprovada pelos resultados obtidos da aplicação das duas *checklists*, são indicativas da existência de incompatibilidade entre os estatutos de protecção em vigor e a pressão antrópica (ocupação e uso) verificada.

A proposta de ordenamento e gestão do sistema dunar de Peniche-Baleal que se apresenta (i) considera os principais problemas de vulnerabilidade identificados pelas duas *checklists*; (ii) elege algumas medidas de protecção “ligeira”, nomeadamente aquelas que poderão ser implementadas a custos moderados; (iii) ordena por prioridade de execução as intervenções que possibilitam a mitigação destes problemas.

Como já foi referido no quarto capítulo desta dissertação, os principais problemas de vulnerabilidade identificados pelas duas *checklists* resultam da (i) degradação da morfologia dunar; (ii) pressão antrópica; (iii) ocorrência de formas de erosão; (iv) ausência de dunas embrionárias; (v) ineficácia do ordenamento e gestão. Certamente que a gestão eficaz da pressão antrópica no sistema dunar originará a diminuição dos factores que contribuem para a sua presente vulnerabilidade.

A Figura 5.3. ilustra a localização e tipologia das medidas de ordenamento e gestão que se pretendem implementar no sistema dunar de Peniche-Baleal.

A medida mais importante, de carácter prioritário, será **proceder ao ordenamento dos caminhos de acesso pedonal**.

As praias de Peniche de Cima, do Baleal Campismo e do Baleal Sul, que correspondem às praias em contacto com os sectores dunares S2, S5 e S6, respectivamente, estão classificadas no POOC Alcobaça-Mafra como praias de tipo II, *i.e.*, praia não urbana de uso intensivo que corresponde a praias de forte afluência, geralmente relacionadas com uma procura específica, não associadas a frente urbana, localizando-se normalmente na proximidade de aglomerados urbanos (Resolução do Conselho de Ministros n.º 11/2002, artigo 47º, alínea b). Estas praias estão sujeitas a forte pressão antrópica, principalmente durante os meses de Verão, e não possuem quaisquer passagens sobrelevadas de acesso pedonal à praia pelo sistema dunar. Relembre-se que nestes sectores a densidade da rede de caminhos não ordenados é muito elevada possuindo caminhos que chegam a atingir os 12 m de largura e permitem a circulação de veículos motorizados!

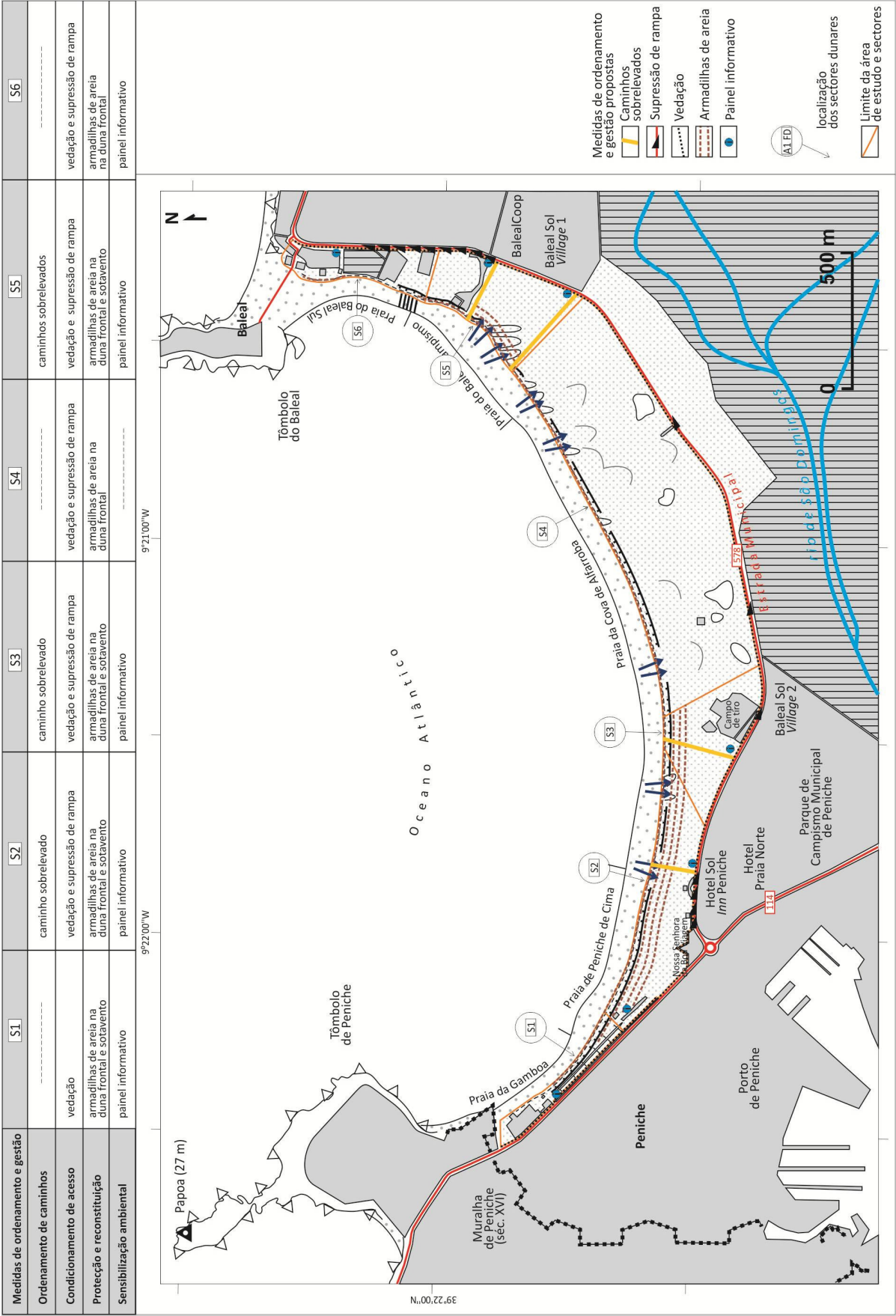


Figura 5.3. Proposta de algumas medidas de ordenamento e gestão do sistema dunar de Peniche-Baleal (Base cartográfica: Ortofotomapa 2005).

Propõem-se a instalação de quatro passagens sobrelevadas (i) uma no S2, localizada junto ao Hotel Sol *Inn* Peniche; (ii) uma no S3, localizada junto ao Parque de Campismo Municipal de Peniche e Baleal Sol *Village* 2; (iii) duas no S5, localizadas junto ao Baleal Sol *Village* 1 e ao parque de campismo do BalealCoop.

As passagens sobrelevadas deverão ser dimensionadas de modo a permitir a circulação sem constrangimentos das pessoas, nos dois sentidos, recomendando-se uma largura máxima de 2,5 m à semelhança do que é sugerido no manual do *Ministerio de Medio Ambiente* (MMA, 2007).

Sempre que possível deverá ser facultada a acessibilidade a pessoas que possuem mobilidade reduzida, sugerindo-se, em locais onde a topografia dunar o permita, a construção de rampas com declive suave, em detrimento de escadas.

A sua localização estratégica na proximidade destes empreendimentos turísticos será indispensável para reduzir a pressão antrópica sobre o sistema dunar. Assim, os utilizadores são disciplinados para utilizar as passagens existentes e são dissuadidas de circular e traçar caminhos alternativos para aceder à praia, evitando-se o pisoteio do sistema dunar.

Pelas mesmas razões, sugere-se que os caminhos e escadas sobrelevados existentes em S1 e S2 deverão ser estruturas contínuas que se prolongam até à praia, ao invés do que foi realizado pela Câmara Municipal de Peniche.

Seguidamente será necessário **eliminar o acesso de veículos motorizados e os estacionamento não ordenados** presentes no sistema dunar.

Propõem-se a supressão de todas as rampas (rebaixamentos de lancil) existentes ao longo da Estrada Municipal Nº 578. Esta medida irá dificultar o acesso de veículos motorizados (mesmo os todo-o-terreno) ao sistema dunar, uma vez que existe um desnível com cerca de 40 cm entre a estrada e a ciclovia contígua ao limite interior do sistema dunar. No entanto, para dissuadir os mais atrevidos sugere-se a construção de uma vedação ou obstáculo ao longo da estrada que impeça ou dificulte o acesso. Uma boa solução será a colocação de barrotes de madeira, com pouco espaçamento entre si, apenas interrompidos em locais de acesso a apoios de praia, caminhos e escadas sobrelevados. Sem acesso ao sistema dunar, os estacionamento não ordenados presentes serão abandonados.

A aplicação desta medida será polémica nos sectores dunares S1 e S6 uma vez que aí existem várias construções (habitações e armazéns). Propõem-se, nos locais onde existe o rebaixamento

de lancil, a instalação de um dispositivo de gestão de trânsito (exemplo de cancela ou pilarete retráctil) que permita apenas o acesso a residentes e trabalhadores.

Por fim, será importante proceder à **recuperação das áreas degradadas do sistema dunar**.

Todos os sectores carecem de medidas que mitiguem a erosão e degradação presente na frente dunar. A solução proposta passa pela colocação de armadilhas de areia construídas com ramos de árvores ou outro material vegetal (mais económicas se forem utilizados, por exemplo, os desperdícios vegetais resultantes da manutenção de arvoredos presentes no concelho) ou de outro tipo (ripados de madeira ou malha sintética).

As armadilhas de areia deverão ser colocadas nos meses que precedem o Verão, de modo a que estejam plenamente funcionais na época estival quando as características do vento (velocidade e direcção) são mais favoráveis ao transporte eólico dos sedimentos da praia para o sistema dunar.

A sua colocação deverá ser feita na base da duna frontal, acima do nível do mar em preiamar viva para evitar danos decorrentes da acção do mar, e em brechas e *blowouts* de modo a estimular a colmatção destas formas de erosão e evitar que se tornem mais pronunciadas.

Nos sectores dunares S2, S3 e S5 será também importante colocar armadilhas de areia a sotavento da frente dunar, pois a instabilização dos sedimentos é bastante evidente (a dimensão atípica da duna branca assim o confirma). Aqui podem ser colocadas vários alinhamentos de armadilhas de areia espaçados entre si no mínimo 8 m, se as estruturas tiveram uma altura de 1 m acima da superfície topográfica. Relembre-se que as armadilhas de areia possibilitam a deposição de sedimentos numa área que dista até oito vezes a altura da estrutura (Carter, 1988).

Pensa-se que uma vez que ocorra deposição eólica de sedimentos, a vegetação dunar iniciará a colonização das areias, pois o sistema dunar (ainda) apresenta uma considerável diversidade biológica.

Propõem-se ainda a **colocação de painéis informativos** que forneçam informação sobre a dinâmica natural do sistema dunar, a importância da sua preservação e a utilidade das intervenções realizadas. Os painéis deverão ser colocados na proximidade do parque de estacionamento ordenado junto à praia do Baleal Sul (S6) e junto às passagens sobrelevadas propostas para os sectores dunares S2 e S5. Os dois painéis existentes, dada a sua degradação, deverão ser substituídos.

A proposta de ordenamento e gestão apresentada pretende simplesmente mitigar os problemas de vulnerabilidade identificados e aumentar a capacidade de resiliência do sistema dunar de Peniche-Baleal. Existiu o cuidado de não sugerir acções que sobrevalorizem o sistema dunar porque poderão incrementar a sua atractividade e, em consequência, aumentar a pressão antrópica e a sua vulnerabilidade.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo desta dissertação salientou-se a importância dos sistemas dunares litorais enquanto espaços que (i) desempenham a função primordial de protecção das terras emersas à acção erosiva das ondas; (ii) manifestam elevado interesse na conservação da natureza e biodiversidade; (iii) providenciam um vasto conjunto de recursos naturais de elevada relevância para a sociedade humana; (iv) estabelecem uma importante plataforma de desenvolvimento económico, principalmente no que respeita às actividades económicas ligadas ao turismo e lazer.

Por estes motivos, são espaços sujeitos a grande pressão antrópica (ocupação e uso), nem sempre em conformidade com a sua dinâmica natural. Em consequência, os sistemas dunares litorais têm sofrido fortes modificações geomorfológicas e ecológicas, com efeitos na sua resiliência e vulnerabilidade biofísica, que têm frequentemente culminado com a sua erosão e degradação.

Adicionalmente, a subida relativa do nível médio do mar, decorrente da expansão térmica do oceano, faz prever a intensificação da erosão e degradação dos sistemas dunares litorais.

Nas últimas décadas, a crescente preocupação com o agravamento dos problemas que afectam o litoral, em geral, e os sistemas dunares litorais, em particular, tem vindo a merecer interesse por parte de Governos nacionais e comunidade científica, reflectindo-se na forte protecção legislativa destes espaços e na evolução do conhecimento dos agentes forçadores da dinâmica litoral.

O sistema dunar de Peniche–Baleal, localizado na costa ocidental portuguesa e inserido na Região Oeste do território nacional, no concelho de Peniche, é um espaço que, pelas suas óptimas condições de acessibilidade (proximidade da Estrada Municipal nº 578, da Estrada Nacional nº 114 e IP6), exerce grande atractividade sobre veraneantes, turistas e desportistas devido à presença de praias sucessivamente galardoadas com o prémio Bandeira Azul e à forte aposta do concelho nas práticas desportivas ligadas ao *surf*. Constitui importância vital na estratégia de desenvolvimento territorial do concelho, concretizada pelo forte investimento nas actividades turísticas e recreativas.

Em consequência da forte pressão antrópica a que é sujeito, o sistema dunar evidencia, actualmente, indícios de erosão marinha e degradação antrópica denunciados pela presença de micro-arribas de erosão, caminhos (trilhos) não ordenados, brechas e *blowouts* na duna frontal.

A avaliação da vulnerabilidade biofísica do sistema dunar baseada (i) na análise da dinâmica natural do sistema; (ii) no efeito da acção antrópica; (iii) na aplicação de duas *checklists*, *checklist* 1 – lista de controlo de vulnerabilidade dunar e *checklist* 2 – lista de controlo de resiliência dunar; permitiu identificar os principais problemas que causam a sua erosão e degradação, induzidos por factores naturais e antrópicos.

A análise preliminar da dinâmica natural do sistema dunar evidenciou que: (i) a morfologia da frente dunar está muito degradada, facto comprovado pela presença de micro-arribas de erosão, brechas e *blowouts* e, em alguns casos, pelo comportamento transgressivo dos sedimentos da duna frontal; (ii) durante o período estival existem condições favoráveis de vento que possibilitam o robustecimento da duna frontal, pela dominância de vento forte de Norte, de mar para terra; (iii) em episódios de precipitação intensa e concentrada, o troço litoral será beneficiado pelo afluxo de sedimentos transportados pelos pequenos cursos de água localizados a Sul da bacia hidrográfica da Lagoa de Óbidos; (iv) a reduzida dimensão das bacias hidrográficas das ribeiras do Oeste e as suas características geológicas, predominantemente calcários e margas, condicionam o fornecimento de sedimentos ao litoral; (v) em períodos de elevada hidrodinâmica (Inverno marítimo) as ondas actuam directamente na duna frontal promovendo fenómenos de galgamento oceânico; (vi) o Canhão submarino da Nazaré, entalhado na plataforma continental adjacente, reduzirá substancialmente os sedimentos em trânsito na corrente de deriva litoral; (vii) o tratamento sedimentológico das amostras confirma que a frente dunar do sistema estará sujeita à acção marinha; (viii) a vegetação dunar apresenta elevada diversidade e bom estado de conservação, sobretudo a sotavento da duna frontal, onde é possível reconhecer duas importantes espécies endémicas lusitanas com estatuto de protecção.

O estudo do efeito da acção antrópica demonstrou que o sistema dunar é sujeito a várias agressões que se prendem sobretudo com o uso antrópico indevido, designadamente o pisoteio, a circulação de veículos automóveis, o uso da duna frontal como extensão da praia, as práticas desportivas, o estacionamento não ordenado e o despejo de entulho. O pisoteio e a circulação de veículos automóveis estão na origem de uma disseminada rede de caminhos não ordenados, particularmente densa sobre a duna frontal.

A acção antrópica condiciona em grande medida a evolução geomorfológica da duna frontal e a sua capacidade de resiliência e vulnerabilidade biofísica. No sentido de mitigar a erosão e degradação da duna frontal, foram implementadas algumas medidas, de ordenamento e gestão, sobretudo a partir da década de 1980, concretizadas pela artificialização da duna no troço mais ocidental do sistema dunar, pela colocação de armadilhas de areia e pela construção de alguns caminhos, escadas e passagem sobrelevadas.

A avaliação da vulnerabilidade biofísica pela aplicação das mencionadas *checklists* reconheceu os principais problemas de vulnerabilidade do sistema dunar: (i) a degradação da morfologia dunar; (ii) a pressão antrópica; (iii) a ocorrência de formas de erosão; (iv) a ausência de dunas embrionárias; (v) a ineficácia do ordenamento e gestão.

Os resultados obtidos permitem concluir que o sistema dunar de Peniche-Baleal detém uma elevada vulnerabilidade decorrente, sobretudo, da intensa pressão antrópica e da elevada atractividade turística a que é sujeito, e que origina a sua degradação uma vez que as medidas de ordenamento e gestão implementadas revelam-se insuficientes e/ou ineficazes.

Apesar da intensa pressão antrópica, pensa-se que a implementação de algumas medidas ajustadas de ordenamento e gestão, com o intuito de estimular o desenvolvimento dunar e de mitigar os impactos decorrentes da erosão marinha e acção antrópica, poderão aumentar a capacidade de resiliência do sistema dunar e diminuir a sua vulnerabilidade biofísica.

As medidas propostas passam pelo (i) ordenamento dos caminhos de acesso pedonal; (ii) condicionamento do acesso de veículos motorizados; (iii) colocação de armadilhas de areia, sobretudo na duna frontal, brechas e *blowouts*; (iv) colocação de painéis informativos.

A avaliação da vulnerabilidade biofísica está datada no tempo e revela as condições naturais e antrópicas do sistema dunar nesse momento (Primavera de 2008, dia 2 de Maio de 2008).

Como foi mencionado no início desta dissertação, os sistemas dunares e as praias constituem um sistema dinâmico onde as permanentes trocas de sedimentos entre uma e outra entidade morfológica existem em resposta às variações do clima de agitação marítima (com marcada diferenciação sazonal, mais energética no Inverno do que no Verão). Será interessante avaliar, futuramente, a vulnerabilidade biofísica do sistema dunar em períodos com características distintas de hidrodinâmica (Inverno e Verão marítimo) comparando-a com a situação descrita, que constituirá a situação de referência.

Outra linha de investigação futura, também muito interessante, será avaliar a magnitude dos fenómenos de erosão marinha, especialmente em episódios de galgamento oceânico, uma vez que é um fenómeno que ocorre com alguma frequência neste troço litoral.

A maior dificuldade encontrada prendeu-se com o limitado conhecimento das condições locais da dinâmica marinha. O acesso a dados de ondulação e batimetria de pormenor serão, futuramente, úteis para elaborar modelos de propagação das ondas e de correntes marinhas de modo a esclarecer o contributo destes mecanismos para o balanço sedimentar do sistema dunar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A

- Andrade C. (Coord.), Pires H.O., Silva P., Taborda R., Freitas M.C., 2006. Zonas Costeiras. In Santos F.D. & Miranda P. (Eds.). *Alterações Climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação. Projecto SIAM II*. Gradiva Publicações Lda., Lisboa, p.171-208.
- Andrade C., 1997. Dinâmica, erosão e conservação das zonas de praia. Comissão da Exposição Mundial de Lisboa – EXPO 98, Lisboa, 88p.
- Antunes & Taborda, 2009. Sea level rise at Cascais tide gauge: data, analysis and results. *Journal of Coastal Research*, Special Issue 56: 218-222.
- Antunes do Carmo J., Schreck Reis C., Freitas H., 2005. Protecção dunar: um caso de estudo na costa portuguesa. *III Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa*, Maputo, 12p.

B

- Bird E.C.F., 2008. *Coastal geomorphology: an introduction*. John Willey & Sons Ltd., Chichester, 2nd Edition, 411p.
- Bird E.C.F., 1994. The management of artificial beaches. In Miossec A. (Ed.). *Défense des côtes ou protection de l'espace littoral, quelles perspectives?* Cahiers Nantais, URA 904, CNRS, Commission sur L'Environnement Côtier de L'UGI, p.153-160.
- Blot M.L.P., 2003. Os portos na origem dos centros urbanos. Contributo para a arqueologia das cidades marítimas e fluvio-marítimas em Portugal. *Trabalhos de Arqueologia*, nº.28, Instituto Português de Arqueologia, Lisboa, 338p.
- Blott S.J. & Pye K., 2004. GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26: 1237-1248.
- Bodéré J.-Cl., Cribb R., Curr R.H.F., Davies P., Hallégouet B., Meur C., Piriou N., Williams A.T., Yoni C., 1994. Vulnérabilité des dunes littorales: mise au point d'une méthode d'évaluation. In Miossec A. (Ed.). *Défense des côtes ou protection de l'espace littoral, quelles perspectives?* Cahiers Nantais, URA 904, CNRS, Commission sur L'Environnement Côtier de L'UGI, p.197-201.
- Bodéré J.-Cl., Cribb R., Curr R.H.F., Davies P., Hallégouet B., Meur C., Piriou N., Williams A.T., Yoni C., 1991. La gestion des milieux dunaires littoraux. Evaluation de leur vulnérabilité à partir d'une liste de contrôle. Etude de cas dans le sud du Pays de Galles et en Bretagne occidentale. *Noréis*, 38 (151): 279-298.

Botelho da Costa J., 1998. *Estudo e classificação das rochas por exame macroscópico*. Serviço de Educação, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 9ª Edição, 196p.

BTCV (British Trust for Conservation Volunteers), 2001. *Sand dunes, a practical handbook*. BTCV, 109p.

C

- Carter R.G.W., 1991. Near-future sea level impacts on coastal dune landscapes. *Landscape Ecology*, Special Issue Impact of climate change on coastal dune landscape of Europe, 6 (1-2): 7-13.

-
- Carter R.G.W., 1988. *Coastal environments: an introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines*. Academic Press, London, 617p.
- Cooper J.A.G. & Pilkey O.H., 2004. Sea-level rise and shoreline retreat: time to abandon the Bruun Rule. *Global and Planetary Change*, 43: 157-171.
- Costa J.C., 2001. Tipos de vegetação e adaptações das plantas do litoral de Portugal. In Moreira, M.E., Casal Moura, A., Granja, M.H., Noronha F. (Eds.). *Homenagem (In honorium) ao Professor Gaspar Soares de Carvalho*. Barbosa e Xavier Editora, Braga, p.283-299.
- Costanza R., d'Arge R., de Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., O'Neill R.V., Paruelo J., Raskin R.G., Sutton P., van der Belt M., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387: 253-260.

D

- Daveau S., 1980. Espaço e tempo. Evolução do ambiente geográfico de Portugal ao longo dos tempos pré-históricos. *Clio – Revista do Centro de História da Universidade de Lisboa*, 2: 13-37.
- Davis R.A.J. & FitzGerald D.M., 2004. *Beaches and coasts*. Blackwell Publishing, Malden, 419p.
- Davies P., Williams A.T., Curr R.H.F., 1995. Decision making in dune management: theory and practice. *Journal of Coastal Conservation*, 1: 87-96.
- Dias J.A., 2009. Alguns exemplos da rápida evolução costeira em Portugal. *VII Reunião do Quaternário Ibérico*, 5-9 Outubro 2009, Faro, p.17-21.
- Dias J.A., 2005. Evolução da zona costeira portuguesa: forçamentos antrópicos e naturais. *Revista Encontros Científicos – Turismo, Gesta, Fiscalidade*, 1: 8-28.
- Dias J.A., 2004. *A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos: uma introdução à Oceanografia Geológica*. Universidade do Algarve, Faro, 84p.
- Dias J.A., 1990. A evolução do litoral português. *GeoNovas*, 11: 15-28.
- Dias J.A., 1987. *Dinâmica sedimentar e evolução recente da plataforma continental portuguesa setentrional*. Tese de Doutoramento em Geodinâmica Externa, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 384p.
- Dias J.A. & Taborda R., 1988. Evolução recente do nível médio do mar em Portugal. *Anais do Instituto Hidrográfico*, 9: 8-97.
- Dias J.A., Matias A., Ferreira O., Williams A., 1999. Integrated dune/beach nourishment on Cacela Peninsula, Portugal. In Kraus N.C. & McDougal W.C. (Eds.), *COASTAL SEDIMENTS'99 Proceedings of the 4th International Symposium on Coastal Engineering and Science of Coastal Sediment Processes*, New York, p.2165-2175.
- Dias J.A., Curr R.H.F., Davies P., Ramos-Pereira A., Williams A.T., 1994. Dune vulnerability and management: Portugal and North West Europe. *Proceedings of LITTORAL 94*, Lisboa, p.837-848.
- Duarte C., Matias A., Dias J.A., Ferreira O., 1999. Vulnerabilidade os corpos dunares do Algarve. *10º Congresso do Algarve*, Portimão, p.477-490.

F

- Ferreira A.B., 2002. Variabilidade climática e dinâmica geomorfológica. *Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos*, Volume I, APGeom, Lisboa, p.7-15.

-
- Ferreira J.C. & Laranjeira M.M., 2000. Avaliação da vulnerabilidade e risco biofísico em áreas litorais sob pressão antrópica. Contributo metodológico para uma gestão ambiental. *Geolnova*, 2: 153-170.
- Ferreira O. & Dias J.A., 1991. Evolução recente de alguns troços do litoral entre Espinho e o Cabo Mondego. *Actas do 2º Simpósio sobre a Protecção e Revalorização da Faixa Costeira do Minho ao Liz*, Porto, p.85-95.
- Ferreira O., Dias J.A., Taborda R., 2008. Implications of sea-level rise for Portugal. *Journal of Coastal Research*, 24 (2): 317-324.
- Ferreira O., Dias J.A., Soares de Carvalho, 1989. *Síntese dos conhecimentos sobre a dinâmica sedimentar da zona costeira entre Peniche e o rio Minho*. Relatório DISEPLA 8/88, Projecto JNICT nº. 87 259, Lisboa, 31p.
- FitzGerald D.M., Fenster M., Argow B.A., Buynevich I.V., 2008. Coastal impacts due to sea-level rise. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 36: 601-647.
- Folk R.L. & Ward W.C., 1957. Brazos River Bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27 (1): 3-26.
- França J.C., Zbyszewski G., Moitinho de Almeida F., 1960. *Notícia Explicativa da folha 26-C da carta Geológica de Portugal 1:50 000*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 33p.
- Freestone A.L. & Nordstrom K.F., 2001. Early development of vegetation in restored dune plant microhabitats on a nourished beach at Ocean City, New Jersey. *Journal of Coastal Conservation*, 7: 105-116.
- Friedman G.M. & Sanders J.E., 1978. *Principles of Sedimentology*. John Wiley & Sons Inc, New York, 792p.

G

- García-Mora M.R., Gallego-Fernández J.B., García-Novo F., 2000. Plant diversity as a suitable tool for coastal dune vulnerability assessment. *Journal of Coastal Research*, 16 (4): 990-995.
- Gomes M. & Ramos-Pereira A., 1996. Proposta de aplicação de educação ambiental ao sistema litoral do Martinhal. *Inforgo*, 11: 151-167.
- Gómez-Pina G., Muñoz-Perez J.J., Ramírez J.L., Ley C., 2002. Sand dune management problems and techniques, Spain. *Journal of Coastal Research*, Special Issue 36: 325-332.
- Goudie A.S. (Ed.), 2003. *Encyclopedia of Geomorphology*, Volume I-II. Routledge, New York, 1156p.

H

- Heslenfeld P., Jungerius P.D., Klijn J.A., 2004. European coastal dunes: ecological values, threats, opportunities and policy development. In Martínez M.L. & Psuty N.P. (Eds.). *Coastal dunes, ecology and conservation*. Ecological Studies, Volume 171, Springer, Berlin, 1st Edition, p.335-351.
- Hesp P., 2004. Coastal dunes in the tropics and temperate regions: location, formation, morphology and vegetation processes. In Martínez M.L. & Psuty N.P. (Eds.). *Coastal dunes, ecology and conservation*. Ecological Studies, Volume 171, Springer, Berlin, 1st Edition, p.29-49.
- Hesp P., 2002. Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. *Geomorphology*, 48: 245-268.

Henriques M.V., 1996. *A faixa litoral entre a Nazaré e Peniche. Unidades geomorfológicas e dinâmica actual dos sistemas litorais*. Tese de Doutoramento em Geografia (Geografia Física), Universidade de Évora, 575p.

Henriques M.V. & Neto C., 2002. Caracterização geo-ecológica dos sistemas de cordões dunares da Estremadura (Nazaré, S. Martinho do Porto e Peniche-Baleal). *Finisterra*, XXXVII (74): 5-31.

Henriques M.V., Freitas M.C., Andrade C., Cruces A., 2002. Alterações morfológicas em ambientes litorais desde o último máximo transgressivo – exemplos da Estremadura e do Alentejo. *Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos*, Volume I, APGeom, Lisboa, p.103-113.

Hosier P.E. & Eaton T.E., 1980. The impact of vehicles on dune and grassland vegetation on a south-eastern North Carolina barrier beach. *Journal of Applied Ecology*, 17: 173-182.

I

ICN (Instituto da Conservação da Natureza), 1998. Guia das Áreas Protegidas do litoral português. Colecção Natureza e Paisagem, nº 13, ICN, Lisboa, 104p.

INMG (Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica), 1991. *O Clima de Portugal, Fascículo XLIX, Volume 2 – 2ª Região, Normais Climatológicas da Região de “Ribatejo e Oeste”, correspondentes a 1951-1980*. Lisboa, 99p.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007. *Climate change 2007: synthesis report*. In Core Writing Team, Pachauri R.K., Reisinger A. (Eds). Contribution of Working Group I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, Geneva, 104p.

L

Laranjeira M.M.C., 1997. *Vulnerabilidade e gestão dos sistemas dunares. O caso das dunas de Mira*. Tese de Mestrado em Ordenamento do Território e Planeamento Ambiental, Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 148p.

Laranjeira M.M.C., Ramos-Pereira A., Williams A.T., 1999. Comparison of two checklists for assessment of coastal dune vulnerability. *Boletín del Instituto Español de Oceanografía*, 15 (1-4): 259-268.

Lomba A., Alves P., Honrado H., 2008. Endemic sand dunes vegetation of the Northwest Iberian Peninsula: diversity, dynamics, and significance for bioindication and monitoring of coastal landscapes. *Journal of Coastal Research*, 24 (2B): 113-121.

M

Magalhães F.M.Q., 1999. *Os sedimentos da plataforma continental portuguesa: contrastes espaciais, perspectiva temporal, potencialidades económicas*. Tese de Doutoramento em Geologia (Sedimentologia), Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 289p.

Magalhães F., Ângelo C. & Taborda R., 2004. Towards the adoption of adequate coastal protection strategies in Portugal. *Thalassas*, 20 (2): 23-29.

MAOTDR (Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional), 2007. *Gestão Integrada da Zona Costeira, Bases para a Estratégia de Gestão Integrada da Zona Costeira Nacional*. Lisboa, 110p.

Martínez M.L., Psuty N.P., Lubke R.A., 2004a. A perspective on coastal dunes. In Martínez M.L. & Psuty N.P. (Eds.). *Coastal dunes, ecology and conservation*. Ecological Studies, Volume 171, Springer, Berlin, 1st Edition, p.3-10.

- Martínez M.L., Maun M.A., Psuty N.P., 2004b. The fragility and conservation of the world's coastal dunes. In Martínez M.L. & Psuty N.P. (Eds.). *Coastal dunes, ecology and conservation*. Ecological Studies, Volume 171, Springer, Berlin, 1st Edition, p.355-369.
- Matias A., Ferreira O., Mendes I., Dias J.A., Vila-Concejo A., 2005. Artificial construction of dunes in the South of Portugal. *Journal of Coastal Research*, 21 (3): 472-481.
- Matias A., Ferreira O., Dias J.A., Vila-Concejo A., 2004. Development of indices for the evaluation of dune recovery techniques. *Coastal Engineering*, 51: 261-276.
- Matias A., Dias J.A., Ferreira O., Williams A.T., 1998. Aplicabilidade de uma lista de controlo de vulnerabilidade dunar à Ria Formosa. In Soares de Carvalho G., Veloso-Gomes F., Taveira-Pinto F. (Eds.). *Dunas da Zona Costeira de Portugal*. Associação EUROCOAST-PORTUGAL, Porto, p.213-224.
- Maun M.A., 2009. *The biology of coastal sand dunes*. Oxford University Press, Oxford, 265p.
- McGranahan G., Balk D., Anderson B., 2007. The rising tide: assessing the risk of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. *Environment & Urbanization*, 19 (1): 17-37.
- Moreira M.E.A., 1984. *Glossário de termos usados em Geomorfologia Litoral*. Estudos de Geografia das Regiões Tropicais, Relatório nº. 15, Centro de Estudos Geográficos, Lisboa, 167p.
- MMA (Ministerio de Medio Ambiente), 2007. *Manual de restauración de dunas costeras*. Dirección General de Costas, Gobierno de España, 251p.

N

- Neto C., 1993. A flora e a vegetação das dunas de S. Jacinto. *Finisterra*, XXVIII (55-56): 101-148.
- Neves M., 2006. *Os sistemas litorais da Estremadura. Classificação e caracterização geomorfológica*. Linha de Investigação em Dinâmica Litoral e Fluvial, Relatório n.º 4, CEG, 118p.
- Nordstrom K.F., 2000. *Beaches and dunes of developed coasts*. Cambridge University Press, Cambridge, 352p.
- Nicholls R.J., 2002. Rising sea levels: potential impacts and responses. In Hester R. & Harrison R.M. (Eds.). *Global Environmental Change*. Issues in Environmental Science and Technology, n. 17, Royal Society of Chemistry, Cambridge, p.83-107.

P

- Paskoff R., 1998. Les dunes littorales de première ligne: un essai de terminologie. In Soares de Carvalho G., Veloso-Gomes F., Taveira-Pinto F. (Eds.). *Dunas da Zona Costeira de Portugal*. Associação EUROCOAST-PORTUGAL, Porto, p.49-63.
- PDM (Plano Director Municipal de Peniche), 1994. *Projecto do Plano – relatório e desenhos fundamentais*. COBA, 199p.
- Psuty N.P., 2004. The coastal foredune: a morphological basis for regional coastal dune development. In Martínez M.L. & Psuty N.P. (Eds.). *Coastal dunes, ecology and conservation*. Ecological Studies, Volume 171, Springer, Berlin, 1st Edition, p.11-27.
- Pye K. & Tsoar H., 2009. *Aeolian sand and sand dunes*. 2nd Edition, Springer, Berlin, 458p.
- Pye K., Saye S., Blott S., 2007a. *Sand dune processes and management for flood and coastal defence. Part 2: sand dunes processes and morphology*. Joint DEFRA/EA Flood and Coastal Erosion Risk Management R&D Programme, R&D Technical Report FD 1302/TR, 21p.

Pye K., Saye S., Blott S., 2007b. *Sand dune processes and management for flood and coastal defence. Part 4: techniques for sand dune management*. Joint DEFRA/EA Flood and Coastal Erosion Risk Management R&D Programme, R&D Technical Report FD 1302/TR, 49p.

R

Ramos-Pereira A., 2008a. Sistemas litorais: dinâmicas e ordenamento. *Finisterra*, XLIII (86): 5-29.

Ramos-Pereira A., 2008b. *Programa de Sistemas Litorais: dinâmicas e ordenamento*. Linha de Investigação em Dinâmica Litoral e Fluvial, DILIF 5, Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa, 114p.

Ramos-Pereira A., 2004. O espaço litoral e a sua vulnerabilidade. *Geolnova*, 9: 33-43.

Ramos-Pereira A., 2001. *O(s) oceano(s) e as suas margens*. Cadernos de Educação Ambiental 5, Instituto de Inovação Educacional, Lisboa, 123p.

Ramos-Pereira A., 1992a. L'Homme et l'érosion: l'exemple du littoral portugais. *Finisterra*, XXVII (53-54): 205-225.

Ramos-Pereira A., 1992b. *A geomorfologia da margem continental portuguesa e a interdependência das plataformas continental e litoral. Evolução do conhecimento e linhas de investigação*. Linha de Acção de Geografia Física, Relatório nº. 30, Centro de Estudos Geográficos, Lisboa, 85p.

Ramos-Pereira A., 1991. A margem continental portuguesa. Breve síntese do conhecimento actual. *Finisterra*, XXVI (51): 149-185.

Ramos-Pereira, A., 1987. *Acumulações arenosas élicas consolidadas do litoral do Alentejo e Algarve Ocidental*. Linha de Acção em Geografia Física, Relatório nº. 27, Centro de Estudos Geográficos, Lisboa, 119p.

Ramos-Pereira A. & Laranjeira M.M.C., 2002. Vulnerabilidade dunar avaliada por uma lista de controlo. In Moreira M.E. (Ed.). *Homenagem (in honorium) ao Professor Gaspar Soares de Carvalho*. Barbosa e Xavier Editora, Braga, p.161-175.

Ramos-Pereira, Borges B., Paixão R., 2008. Recuperação biofísica do campo dunar Peniche-Baleal, 115p., inédito.

Ramos-Pereira A., Laranjeira M.M.C., Neves M., 2000. *A resilience checklist to evaluate coastal dune vulnerability*. Apontamentos de Geografia, Série Investigação, 7, Centro de Estudos Geográficos, Lisboa, 18p.

Ranwell D.S., 1972. *Ecology of salt marshes and sand dunes*. Chapman and Hall, London, 258p.

Rodrigues A., Dias J.A., Ribeiro A., 2000. The North Portuguese shelf during the last Glacial Maximum and Younger Dryas. *3rd Symposium on the Iberian Atlantic Margin*, Faro, p.209-210.

S

Santos F.D., 2006. Problemática das alterações climáticas no início do século XXI. In Santos F.D. & Miranda P. (Eds.). *Alterações Climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação. Projecto SIAM II*. Gradiva Publicações Lda., Lisboa, p.19-43.

Schreck Reis C. & Freitas H., 2002. Rehabilitation of the Leirosa sand dunes. In Soares de Carvalho G., Veloso Gomes F., Taveira Pinto, F. (Eds.). *Littoral 2002, The changing coast*. Associação EUROCOAST/EUCC, Porto, p.381-384.

Schreck Reis C. & Freitas H., 1998. A importância de *Ammophila arenaria* para a Gestão da Zona Costeiras. In Soares de Carvalho G., Veloso Gomes F., Taveira Pinto, F. (Eds.). *Dunas da Zona Costeira de Portugal*. Associação EUROCOAST-PORTUGAL, Porto, p.195-203.

Schreck Reis C., Freitas H., Antunes do Carmo J., 2005. Leirosa sand dunes: a case study on coastal protection. In Guedes Soares C., Garbatov Y., Fonseca N. (Eds.). *Maritime Transportation and Exploitation of Ocean and Coastal Resources*. Volume II, Taylor & Francis/Balkema, Leiden, p.1469-1474.

Schwartz M.L., 2005. *Encyclopedia of Coastal Science*. Encyclopedia of Earth Sciences Series, Springer, Dordrecht, 1211p.

SNH (Scottish Natural Heritage), 2000. *A guide to managing coastal erosion in beach/dune systems*. SNH, Redgorton, 128p.

T

Taborda R. & Dias J.A., 1992. Análise da sobrelevação do nível do mar de origem meteorológica durante os temporais de Fevereiro/Março de 1978 e Dezembro de 1981. *GeoNovas – A Geologia e o Ambiente*, p.89-97.

Taborda R., Magalhães F., Ângelo C., 2005. Evaluation of coastal defense strategies in Portugal. In Zimmermann C., Dean R., Penchev V., Verhagen H. (Eds.). *Environmentally Friendly Coastal Protection*, NATO Science Series, Volume 53, p.255-265.

Trindade J.M.R., 2010. *Dinâmica morfossedimentar de praias dominadas por sistemas de arriba (Peniche-Cascais)*. Tese de Doutoramento em Geografia, Especialidade de Geografia Física, Universidade Aberta, Lisboa, 300p.

Trindade J., Ramos-Pereira A., Neves M., Borges B., Paixão R., 2007. Monitorização da morfodinâmica de praias com dGPS e estação total. Comparação de resultados. *Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos*, Volume V, APGeom, Lisboa, p.293-301.

U

UNEP (United Nations Environmental Programme), 2007. *Global Environment Outlook – GEO4, environment for development*. UNEP, Malta, 540p.

UNSD (United Nations Division for Sustainable Development), 1993. *Agenda 21: Earth Summit – The United Nations Programme of Action from Rio*. UNDS, 294p.

USACE (United States Army Corps of Engineers), 2008. *Coastal Engineering Manual*. USACE, 2150p.

V

van der Laan D., van Tongeren O.F.R., van der Putten W.H., Veenbaas G., 1997. Vegetation development in coastal foredunes in relation to methods of establishing marram grass (*Ammophila arenaria*). *Journal of Coastal Conservation*, 3: 179-190.

van der Meulen F. & Salman A.H.P.M., 1996. Management of Mediterranean coastal dunes. *Ocean & Coastal Management*, 30 (2-3): 177-195.

van der Meulen F. & Udo de Haes H.A., 1996. Nature conservation and integrated coastal zone management in Europe: present and future. *Landscape and Urban Planning* 34: 401-410.

van der Meulen F., Witter J.V., Ritchie W., Arens S.M., 1991. Precepts, approaches and strategies. *Landscape Ecology*, Special Issue Impact of climate change on coastal dune landscape of Europe, Volume 6 (1-2): 7-13.

-
- van der Putten W.H. & Kloosterman E.H., 1991. Large-scale establishment of *Ammophila arenaria* and quantitative assessment by remote sensing. *Journal of Coastal Research*, 7 (4): 1181-1194.
- Varnes D.J., 1984. *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*. Commission of Landslide of IAEG, UNESCO, Paris, 61p.
- Veloso-Gomes F., 2007. A gestão da zona costeira portuguesa. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 7 (2): 83-95.
- Veloso-Gomes F., 2002. Dinâmica litoral. *Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos*, Volume I, APGeom, Lisboa, p.26-29.
- Veloso-Gomes F. & Taveira-Pinto F., 2003. Portuguese coastal zones and the new coastal management plans. *Journal of Coastal Conservation*, 9: 25-34.
- Veloso-Gomes F., Costa J., Rodrigues A., Taveira-Pinto F., Pais-Barbosa J., Neves, L., 2009. Costa da Caparica artificial sand nourishment and coastal Dynamics. *Journal of Coastal Research*, Special Issue 56: 678-682.
- Viles H. & Spencer T., 1995. *Coastal problems: geomorphology, ecology and society at the coast*. Edward Arnold, London, 350p.
- Visser G.S., 1969. Grain size distributions and depositional processes. *Journal of Sedimentary Petrology*, 39 (3): 1074-1106.
- Voice M., Harvey N., Walsh K. (Eds.), 2006. *Vulnerability to climate change of Australia's Coastal Zone: analysis of gaps in methods, data and system thresholds*. Report to the Australian Greenhouse Office, Canberra, 115p.

W

- Williams A.T. & Davies P., 2001. Coastal dunes of Wales; vulnerability and protection. *Journal of Coastal Conservation*, 7: 145-154.
- Williams A.T., Dias J.A., García-Novo F., García-Mora M.R., Curr R.C.F., Ramos-Pereira A., 2001. Integrated coastal dune management: checklists. *Continental Shelf Research*, Volume 21 (18): 1937-1960.
- Williams A.T., Davies P., Dias J.A., Ramos-Pereira A., García-Mora M.R., Tejada M., 1994. A re-evaluation of dune vulnerability checklist parameters. *Gaia*, 8: 179-182.
- Williams A.T., Davies P., Curr R.H.F., Koh A., Bodéré J.Cl., Hallegouet B., Meur C, Yoni C., 1993. A checklist assessment of dune vulnerability and protection in Devon and Cornwall, UK. In Magoon O.T. (Ed.). *COASTAL ZONE'93*. American Society of Civil Engineers, New York, p.3394-3408.
- Woodhouse W.W., 1978. *Dune building and stabilization with vegetation*. United States Army Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center, Special Report nº. 3, Virginia, 112p.

Legislação

Declaração de Rectificação nº 63-B/2008 de 21 de Outubro de 2008 (REN)
Decreto-Lei nº 166/2008 de 22 de Agosto (REN)
Decreto-Lei nº 142/2008 de 24 de Julho (RFCN)
Decreto-Lei nº 270/2001 de 6 de Outubro (Recursos Geológicos)
Decreto-Lei nº 565/99 de 21 de Dezembro (Espécies Não Indígenas)
Decreto-Lei nº 140/99 de 24 de Abril (Transposição Directivas Aves e *Habitats*)
Decreto-Lei nº 309/93 de 2 de Setembro (POOCs)
Decreto-Lei nº 218/95 de 26 de Agosto (Proibição Circulação Automóvel Domínio Público)
Decreto-Lei nº 302/90 de 26 de Setembro (Ocupação e Uso Faixa Costeira)
Decreto-Lei nº 90/90 de 16 de Março (Recursos Geológicos)
Decreto-Lei nº 93/90 de 19 de Março (REN)
Decreto-Lei nº 321/83 de 5 de Julho (REN)
Decreto-Lei nº 41/79 de 6 de Março (Reserva Natural Dunas São Jacinto)
Decreto-Lei nº 468/71 de 5 de Novembro (Lei Domínio Público)
Decreto Regulamentar nº 357/87 de 17 de Novembro (Paisagem Protegida Litoral Esposende)
Directiva do Conselho 92/43/CEE de 21 de Maio (Directiva *Habitats*)
Directiva do Conselho 79/409/CEE de 2 de Abril (Directiva Aves)
Lei nº 11/87 de 7 de Abril (Lei Bases Ambiente)
Recomendação nº 2002/413/CE de 30 de Maio (GZIC)
Resolução do Conselho de Ministros nº 82/2009 de 8 de Setembro (ENGIZC)
Resolução de Conselho de Ministros nº 11/2002 de 17 de Janeiro (POOC Alcobaça – Mafra)
Resolução de Conselho de Ministros nº 152/2001 de 11 de Outubro (ENCNB)
Resolução do Conselho de Ministros nº 76/00 de 5 de Julho (Sítio Peniche/Santa Cruz)
Resolução do Conselho de Ministros nº 139/95 de 16 de Novembro (PDM Peniche)

Links

EC (European Commission)

(http://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/index_en.htm – acedido em Março de 2011).

ICNB (Instituto da Conversação da Natureza e Biodiversidade)

(<http://portal.icnb.pt/ICNPortal/vPT2007/O+ICNB/Estudos+e+Projectos/fichas+caracterizacao+exoticas.htm> – acedido em Março de 2011).

IGeoE (Instituto Geográfico do Exército)

(<http://www.igeoe.pt/> – acedido em Junho de 2008).

IH (Instituto Hidrográfico)

(<http://www.hidrografico.pt/boias-ondografo.php> – acedido em Março de 2010).

IH (Instituto Hidrográfico)

(<http://www.hidrografico.pt/previsao-mares.php> – acedido em Março de 2011).

INAG (Instituto da Água, I.P.)

(http://www.inag.pt/inag2004/port/a_intervencao/obras/pdf/CostaCaparica_AlimentacaoArtificial_2008A3.pdf – acedido em Março de 2011).

INE (Instituto Nacional de Estatística)

(http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_unid_territorial&menuBOUI=13707095&contexto=ut&selTab=tab3 – acedido em Março de 2011).

LNEG (Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P.)

(http://e-geo.ineti.pt/bds/lexico_geologico/default.aspx – acedido em Janeiro de 2010).

NASA/GSFC (National Aeronautics and Space Administration/Goddard Space Flight Center)

(<http://visibleearth.nasa.gov/> – acedido em Março de 2010).

ANEXO I

Checklist 1 – lista de controlo de vulnerabilidade dunar

A *checklist* 1 está organizada em cinco secções que por sua vez comportam um número total de 54 parâmetros a avaliar: secção A – sítio e morfologia, oito parâmetros; secção B – características da praia, nove parâmetros; secção C – características superficiais da duna nos primeiros 200 m, 12 parâmetros; secção D – pressão de uso (pressão exercida pelos utilizadores), 14 parâmetros; secção E – medidas de protecção recentes, 11 parâmetros (Quadro A.I.1.).

Quadro A.I.1. Secções e parâmetros que compõem a *checklist* 1 – lista de controlo de vulnerabilidade dunar.

SECÇÕES	PARÂMETROS
A – sítio e morfologia	Varrido ortogonal; área ocupada por dunas; comprimento da costa com dunas; largura do alinhamento dunar; altura máxima das dunas; características da duna; depressões húmidas; dimensão dos sedimentos.
B – características da praia	Largura da faixa entre-marés; fornecimento de sedimentos; cobertura de calhaus; duna talhada em arriba; altura da arriba dunar em relação à altura da arriba; brechas a barlavento; largura das brechas a barlavento; algas na praia; colonização vegetal.
C – características superficiais da duna nos primeiros 200 m	Superfície não vegetada; superfície ocupada por <i>blowouts</i> ; areia “soprada” para fora do sistema; galgamentos oceânicos; dunas recentes a barlavento; brechas colmatadas por dunas recentes; frente dunar vegetada; depósitos recentes com gramíneas; coberto vegetal impenetrável; evolução da frente dunar; evolução da vegetação; presença de antigas extracções de inertes.
D – pressão de uso	Acesso de utilizadores; acesso por estradas; veículos motorizados sobre dunas; equitação; densidade dos caminhos; incisão dos caminhos; campismo ordenado; campismo selvagem; habitação e construção; número de proprietários; regime da propriedade; extracção de inertes; pastagem; população de coelhos.
E – medidas de protecção recentes	Vigilância e manutenção; acesso limitado; controlo de estacionamento de veículos; controlo de equitação e de circulação de veículos motorizados; ordenamentos dos caminhos; armadilhas de areia; plantação de vegetação; painéis informativos; medidas de protecção; protecção legislativa.

(Adaptado de Laranjeira *et al*, 1999)

Cada um dos parâmetros que compõe estas secções é classificado de acordo com níveis de vulnerabilidade que variam entre 0 e 4, sendo que o valor 4 corresponde ao maior nível de vulnerabilidade atribuído (Quadro A.I.2.). No caso da secção E – medidas de protecção recentes, o valor 4 tem correspondência com o nível de gestão mais elevado (Davies *et al*, 1995; Dias *et al*, 1994; Duarte *et al*, 1999; Laranjeira, 1997; Laranjeira *et al*, 1999; Matias *et al*, 1998; Williams & Davies, 2001).

O valor obtido para cada secção é depois transformado em percentagem do valor total possível. Por exemplo, a secção A – sítio e morfologia comporta oito parâmetros que podem ser classificados pelo valor máximo de 4, logo $8 \times 4 = 32$, sendo este o valor total possível que

corresponde a 100%. Sempre que algum dos parâmetros não se aplique, não deve ser considerado para a contabilização da vulnerabilidade da secção. Assim, para o mesmo exemplo, na eventualidade de se retirar um parâmetro, a secção A passaria apenas a ser composta por sete, logo $7 \times 4 = 28$, sendo este o valor total possível correspondente a 100%.

O somatório dos valores obtidos para as secções de A a D (43 parâmetros) permite o cálculo de um Índice de Vulnerabilidade (VI), que é representado graficamente por um polígono cujos vértices simbolizam cada uma das secções. Quanto maior a área do polígono maior a vulnerabilidade do sistema dunar.

O somatório dos valores obtidos para a secção E (11 parâmetros) permite o cálculo do Índice de Medidas de Protecção (PM), que é representado graficamente por uma circunferência cujo raio é estabelecido pelo valor percentual da secção. Quanto maior a área da circunferência maior o nível de gestão do sistema dunar.

Os dados permitem ainda calcular o rácio VI/PM, indicativo do estado de equilíbrio entre a vulnerabilidade do sistema dunar e as medidas de protecção existentes (decorrentes da gestão e ordenamento do sistema dunar). Os mencionados autores propuseram a seguinte interpretação dos valores obtidos pelo rácio VI/PM:

- (i) $VI/PM \leq 0,8$ sugere um desequilíbrio positivo, isto é, o sistema dunar é exageradamente gerido face à sua vulnerabilidade;
- (ii) $0,8 \geq VI/PM \leq 1,3$ sugere que o sistema dunar está em equilíbrio, isto é, as medidas de gestão são suficientes para mitigar a vulnerabilidade evidenciada pelo sistema dunar;
- (iii) $VI/PM \geq 1,3$ sugere um desequilíbrio negativo, isto é, o sistema dunar é sub-gerido face à sua vulnerabilidade.

Quadro A.I.2. *Checklist 1* – lista de controlo de vulnerabilidade dunar.

		Nível de vulnerabilidade				
Secção A – sítio e morfologia		0	1	2	3	4
1.	Varrido ortogonal	Pequeno		Médio		Grande
2.	Área ocupada pelas dunas (ha)	>500		>100		<100
3.	Comprimento da costa com dunas (km)	>20	>10	>5	>1	<0,1
4.	Largura do alinhamento dunar (km)	>5	>2	>1	>0,1	<0,1
5.	Altura máxima das dunas (m)	>25	>10	>5	>1	<1
6a.	Se existe: número de cristas principais	>10	5-9	3-4	2	1
6b.	Se talude de encontro a obstáculo: declive da vertente	Moderado		Suave		Forte
6c.	Se alcandorada: altura da arriba	<2		2-5		>5
7.	Superfície total das depressões húmidas	Moderada		Pequena		Nenhuma
8.	Dimensão dos grãos nas primeiras dunas (escala ϕ)	≤ -1	0	+1	+2	+3
Σ / %						
Secção B – características da praia		0	1	2	3	4
1.	Largura da faixa entre marés (km)	>0,5	>0,2	>0,1	>0,05	<0,05
2.	Fornecimento de areias	Abundante		Médio		Reduzido
3.	Cobertura de calhaus em % da superfície	0	<5	>5	>25	>50
4.	% de duna talhada em arriba	0	<25	>25	>50	>75
5.	Altura arriba dunar em % da altura da arriba	0	<25	>25	>50	>75
6.	Brechas a barlavento	Nenhumas		Algumas		Muitas
7.	Largura das brechas a barlavento (m)	<2		2-10		>10
8.	Algas na praia alta	Muitas		Algumas		Nenhuma
9.	Colonização vegetal entre duna e NMPM	Elevada		Reduzida		Inexistente
Σ / %						
Secção C – características superficiais da duna primeiros 200 m		0	1	2	3	4
1.	% de superfície não vegetada	<10	>10	>20	>40	>75
2.	% de superfície ocupada por <i>blowouts</i>	<5	>5	>10	>20	>40
3.	Areia “soprada” do sistema para o interior	Pouca		Alguma		Muita
4.	Invasão de água salgada	Nenhuma		Alguma		Muita
5.	% de dunas recentes a barlavento	>50	>25	>5	<5	0
6.	% de brechas colmatadas por dunas recentes	>75	>50	>25	>5	0
7.	% da frente dunar vegetada	>90	>60	>30	>10	<10
8.	Se existe: depósitos recentes de areia com gramíneas	Abundante		Médio		Reduzido
9.	% de coberto vegetal impenetrável	Alguma		Pouca		Nenhuma
10.	Evolução da frente dunar desde 1980	Avanço		Oscilação		Recuo
11.	Evolução da vegetação desde 1980	Aumento		Oscilação		Diminuição
12.	Antigas extracções inertes a menos 200 m frente do mar	Nenhumas		Algumas		Muitas
Σ / %						
Secção D – pressão exercida pelos diversos utilizadores		0	1	2	3	4
1.	Acesso dos utilizadores	Fraca		Moderada		Forte
2.	Acesso por estrada	Inexistente		Moderado		Bom
3.	Veículos motorizados sobre dunas	Nenhumas		Algumas		Muitas
4.	Equitação sobre as dunas	Nenhuma		Alguma		Muita
5.	Densidade dos caminhos	Fraca		Média		Forte
6.	Incisão dos caminhos	Suave		Moderada		Forte
7.	Campismo ordenado	Pouco		Algum		Muito
8.	Campismo selvagem	Pouco		Algum		Muito
9.	Habitação/construção	Pouca		Alguma		Muita
10.	Número de proprietários	Um		Alguns		Muitos
11.	Principal regime de propriedade	Protecção		Pública		Privada
12.	Extracção comercial/ocasional	Nenhuma		Alguma		Bastante
13.	Pastagem (bovinos, caprinos, ovinos)	Nenhuma		Alguma		Bastante
14.	População de coelhos	Pequena		Moderada		Grande
Σ / %						
Secção E – medidas de protecção recentes		0	1	2	3	4
1.	Vigilância e manutenção	Nenhuma		Alguma		Bastante
2.	% da área com acesso limitado	0	<10	>10	>25	>50
3.	Controlo de estacionamento de veículos	Nenhum		Algum		Total
4.	Controlo de equitação	Nenhum		Algum		Total
5.	Controlo de veículos motorizados sobre dunas	Nenhum		Algum		Total
6.	Ordenamento de caminhos	Nenhum		Algum		Total
7.	Armadilha de areia	Poucas		Algumas		Muitas
8.	% de plantação em áreas de areia móvel	0	<10	>10	>25	>50
9.	Painéis informativos	Nenhuns		Alguns		Bastantes
10.	Se erosão marinha: medidas de protecção	Nenhumas		Algumas		Bastantes
11.	Protecção legislativa	Fraca		Moderada		Forte
Σ / %						

(Adaptado de Dias *et al*, 1994 e Davies *et al*, 1995)

ANEXO II

Checklist 2 – lista de controlo de resiliência dunar

A *checklist* 2 está organizada em sete secções que por sua vez comportam um número total de 42 parâmetros a avaliar: secção A – erosão dunar (6 parâmetros); secção B – alimentação em areias (4 parâmetros); secção C – fixação das areias pela vegetação dunar (3 parâmetros); secção D – pressão de uso (9 parâmetros); secção E – eficácia/ineficácia do ordenamento e gestão (12 parâmetros); OTA – obstáculos à livre transgressão de areias (4 parâmetros) e AT – atractividade turística (4 parâmetros) (Laranjeira, 1997; Laranjeira *et al*, 1999; Ramos-Pereira & Laranjeira, 2002; Ramos-Pereira *et al*, 2000) (Quadro A.II.1).

Quadro A.II.1. Secções e parâmetros que compõem a *checklist* 2 – lista de controlo de resiliência dunar.

SECÇÕES	PARÂMETROS
A – erosão dunar	Arriba talhada em duna; altura da arriba em duna; galgamentos oceânicos recentes; brechas; <i>blowouts</i> ; areia “soprada” para fora do sistema.
B – alimentação em areias	Dunas embrionárias; colmatação de brechas, <i>blowouts</i> e galgamentos oceânicos.
C – fixação das areias pela vegetação dunar	Superfície não vegetada; frente dunar não vegetada; danificação da vegetação.
D – pressão de uso	Rede de caminhos de acesso à praia; incisão dos caminhos; veículos motorizados; equitação; parques de campismo; construções; extracção de inertes; actividades ligadas à pesca; campos desportivos.
E – eficácia/ineficácia do ordenamento e gestão	Ordenamento de caminhos; painéis informativos; vigilância e controlo de veículos, de equitação, de construções, de extracção de inertes e de actividades ligadas à pesca; armadilhas de areia; plantação de vegetação; alimentação artificial; restrição de acesso; obras de protecção costeiras.
OTA – obstáculos à livre transgressão de areias	Solo não urbanizado; solo urbanizado; outros espaços ordenados; vias de comunicação.
AT – atractividade turística	Capacidade de alojamento na área; condições de acesso e estacionamento; espaços de lazer; actividades balneares.

(Adaptado de Laranjeira *et al*, 1999)

Cada um dos parâmetros que compõe estas secções é classificado de acordo com níveis de vulnerabilidade que variam entre 0 e 2 (Quadro A.II.2.). De acordo com a investigação preliminar de Laranjeira (1997), Laranjeira *et al* (1999), Ramos-Pereira & Laranjeira (2002) e Ramos-Pereira *et al* (2000) os níveis de vulnerabilidade pré-estabelecidos devem ser interpretados da seguinte forma:

- (i) o valor 0 é indicativo de sensibilidade baixa e limiar de resiliência não ultrapassado, isto é, a capacidade de auto-regulação do sistema dunar não está em risco;
- (ii) o valor 1 é indicativo de sensibilidade variável e limiar de resiliência no limite, isto é, o sistema dunar apresenta sinais de degradação localizada;

(iii) o valor 2 é indicativo de sensibilidade elevada e limiar de resiliência ultrapassado, isto é, o sistema dunar apresenta degradação severa e generalizada, sem sinais de auto-regulação.

O valor obtido para cada secção é depois transformado em percentagem do valor total possível. Por exemplo, a secção A – erosão dunar comporta seis parâmetros que podem ser classificados pelo valor máximo de 2, logo $6 \times 2 = 12$, sendo este o valor total possível que corresponde a 100%. Sempre que algum dos parâmetros não se aplique, não deve ser considerado para a contabilização da vulnerabilidade da secção. Assim, para o mesmo exemplo, na eventualidade de se retirar um parâmetro, a secção A passaria apenas a ser composta por cinco, logo $5 \times 2 = 10$, sendo este o valor total possível correspondente a 100%.

As secções de A a E são representadas graficamente por colunas e a leitura do seu valor é feita no eixo esquerdo das ordenadas. As secções OTA e AT são representadas graficamente por linhas horizontais e a leitura do seu valor é feita no eixo direito das ordenadas.

O cálculo do valor médio percentual obtido para as secções de A a E (34 parâmetros) permite obter o Grau de Vulnerabilidade Médio (VM), que é representado graficamente por uma linha horizontal e a leitura do seu valor é feita no eixo das ordenadas (eixo direito). Esta representação permite avaliar a importância de cada secção de vulnerabilidade em relação ao VM, com especial destaque para as secções OTA e AT, *considerados factores de risco associados à vulnerabilidade porque podem induzir situações de danos e custos biofísicos, ecológicos e sócio-económicos*, como menciona Laranjeira (1997) e Laranjeira *et al* (1999). De acordo com as mencionadas autoras, quando o grau de um ou ambos os factores de risco (OTA e AT) for superior ao grau de vulnerabilidade médio considera-se que o sistema dunar apresenta uma situação de risco potencial ou efectiva.

Quadro A.II.2. *Checklist 2* – lista de controlo de resiliência dunar.

		Nível de vulnerabilidade		
Secção A – erosão dunar		0	1	2
pela acção do mar:				
1.	Arriba talhada em duna: % do comprimento da duna frontal	A	P em <50%	P em >50%
2.	Altura da arriba em duna: % da altura da duna	P em ≤25%	P em 25-50%	P em >50%
3.	Galgamentos oceânicos recentes	A		P
pela acção do vento e antrópica:				
4.	Brechas activas em % do sistema dunar	A ou P brechas pouco incisas <1 m em <50%	P brechas pouco incisas <1 m em >50% ou P brechas profundas <1 m em >50%	P brechas profundas >1 m em 50% ou P brechas largas >2 m em 50%
5.	Blowouts activos no sistema dunar	A	P blowouts incipientes em <1/3 ou P blowouts bem formados amplos em <1/3	P blowouts incipientes em >1/3 ou P blowouts bem formados amplos em >1/3
6.	Areia “soprada” para fora do sistema dunar	A de vestígio	Pequenas acumulações de areia	Acumulações de areia causam danos e justifica intervenção
Secção B – alimentação em areias		0	1	2
1.	Dunas embrionárias a barlavento: % do sistema dunar	P em >50%	P em >50%	A
2.	Colmatção de brechas c/ dunas embrionárias	em >50% das brechas	em <50% das brechas	A
3.	Colmatção de blowouts c/dunas embrionárias	em >50% de blowouts incipientes ou amplos	em <50% de blowouts incipientes ou amplos	A
4.	Colmatção de galgamentos oceânicos c/dunas embrionárias	c/reconstituição parcial cordão dunar	c/formação de dunas embrionárias isoladas	A
Secção C – fixação das areias pela vegetação		0	1	2
1.	Superfície do sistema dunar não vegetada	em <25%	em <25-75%	em >75%
2.	Frente dunar não vegetada	em >50%	em 10-50%	em <10%
3.	Estado de danificação da vegetação (remoção ou plantas c/raízes expostas): % da superfície dunar vegetada	em <25%	em <25-75%	em >75%
Secção D – pressão de uso na duna/degradação da duna		0	1	2
1.	Rede de caminhos de acesso à praia pela duna (F = frequência de caminhos por 100 m de frente dunar)	pouco densa, aberta em pontos específicos (F≤1)	muito densa, aberta em pontos específicos difusa, pouco densa (1≤F≤4)	difusa, muito densa (F≥4)
2.	Incisão de caminhos	Pequena (<1 m)	Moderada (1-2 m)	Profunda (>2 m)
3.	Veículos motorizados	Nenhuns	Alguns, trilhos localizados	Muitos, trilhos difusos
4.	Equitação	Nenhuma	Alguma, trilhos localizados	Muita, Trilhos difusos
5.	Parque de campismo em área de duna	Nenhum	em <1/4	em >1/4
6.	Construção em área de duna	Nenhuma	isolada ou dispersa em <1/4	dispersa em >1/4 ou concentrada
7.	Extracção de inertes em área de duna	Nenhuma	causando destruição em <1/4	causando destruição em >1/4
8.	Actividades ligadas à pesca	A ou P sem afectar a duna	causando destruição em <1/4	causando destruição em >1/4
9.	Campos desportivos (de golfe, de vólei, outros)	Nenhum	ocupação parcial da duna	ocupação total da duna
Secção E – eficácia/ineficácia do ordenamento e gestão		0	1	2
medidas gerais:				
1.	Ordenamento de caminhos	total, passagens sobrelevadas	parcial, passadeiras	A
2.	Painéis informativos	P, bem concebidos, em pontos estratégicos	P e degradados, mal colocados	A
3.	Vigilância e controlo de veículos	P e eficaz ou não necessário	Insuficiente	A
4.	Vigilância e controlo de equitação	P e eficaz ou não necessário	Insuficiente	A
5.	Vigilância e controlo de construção	P e eficaz ou não necessário	Insuficiente	A
6.	Vigilância e controlo de extracção de inertes	P e eficaz ou não necessário	Insuficiente	A
7.	Vigilância e controlo de actividades ligadas à pesca	P e eficaz ou não necessário	Insuficiente	A

A = ausência; P = presença; D = desnecessário; N = necessário

(Adaptado de Laranjeira, 1997 e Ramos-Pereira & Laranjeira, 2002)

Quadro A.II.2. *Checklist 2* – lista de controlo de resiliência dunar (*continuação*).

		Nível de vulnerabilidade		
Secção E – eficácia/ineficácia do ordenamento e gestão		0	1	2
medidas específicas:				
8.	Armadilhas de areia	A e D ou P em áreas de deflacção	A ou Insuficiente, mas necessário em <25%	A ou Insuficiente, mas necessário em >25%
9.	Plantação nas áreas com areias móveis	A e D ou P em áreas estratégicas	A ou Insuficiente, mas necessário em <25%	A ou Insuficiente, mas necessário em >25%
10.	Alimentação artificial da praia ou duna	D	P, com resultados duradouros	N ou P, sem resultados duradouros
11.	Restrição de acesso	A e D ou P em áreas estratégicas	A ou Insuficiente, mas necessário em <25%	A ou Insuficiente, mas necessário em >25%
12.	Obras de protecção costeiras	A	P, perpendiculares à linha costa a sotamar	P, longitudinais, aderentes e/ou P, perpendiculares à linha costa a barlamar
Secção OTA – obstáculo à livre transgressão das areias		0	1	2
		não influencia a vulnerabilidade	condiciona a vulnerabilidade	determina a vulnerabilidade dunar
1.	Solo não urbanizado	em >75% de área de mato	em >75% de área florestada	A ou em >50% de área agricultada
2.	Solo urbanizado	A	em >50% de área urbana dispersa	em >50% de área urbana concentrada
3.	Outros espaços ordenados	A	em >50% com campos desportivos, parques de campismo, outros	
4.	Vias de comunicação	Caminhos florestais	Estradas municipais, com pouco tráfego	Estradas nacionais, vias rápidas, estradas municipais com muito tráfego, caminhos de ferro
Secção AT – atractividade turística		0	1	2
		não influencia a vulnerabilidade	condiciona a vulnerabilidade	determina a vulnerabilidade dunar
1.	Capacidade de alojamento na área enquadrante	A ou alojamento limitado em meio rural	Moderada em meio rural e/ou urbano (parque de campismo/aldeamento turístico, residências, aluguer de quartos e casas, residência secundária)	Elevada em meio rural e/ou urbano (vários parques de campismo/aldeamento turístico, residências, hotéis, aluguer de quartos e casas, residência secundária)
2.	Condições de acesso e estacionamento	A ou más	Razoáveis	Boas
3.	Espaços de lazer (parques de merendas, outros)	A	P, mal conservados	P, bom estado de conservação
4.	Nível de desenvolvimento da actividade balnear	Praia em meio rural, sem vigilância, nem estruturas de apoio	Praia em meio rural, com vigilância e estruturas de apoio (bares)	Praia em meio urbano, com vigilância, estruturas de apoio (bares, sanitários, áreas de barracas) e área destinada a jogos

A = ausência; P = presença; D = desnecessário; N = necessário

(Adaptado de Laranjeira, 1997 e Ramos-Pereira & Laranjeira, 2002)

ANEXO III

Quadro A.III.1. Níveis de vulnerabilidade obtidos pela aplicação da *checklist* 1 – lista de controlo de vulnerabilidade dunar.

Secção A – sítio e morfologia										
Parâmetros										
	1.	2.	3.	4.	5.	6a.	7.	8.	Σ	%
	Nível vulnerabilidade									
S1	4	4	4	4	1	4	4	3	28	87,5
S2	4	4	4	3	1	2	4	3	25	78,1
S3	4	4	4	3	1	2	4	2	24	75,0
S4	4	2	3	3	1	2	2	3	20	62,5
S5	4	4	4	3	1	2	4	3	25	78,1
S6	4	4	4	3	1	4	4	3	27	84,4

Secção B – características da praia											
Parâmetros											
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	Σ	%
	Nível vulnerabilidade										
S1	3	4	0	3	3	2	0	2	2	19	52,8
S2	3	4	0	3	3	2	4	2	4	25	69,4
S3	3	4	1	3	4	4	4	2	4	29	80,6
S4	3	4	1	1	3	4	4	2	4	26	72,2
S5	3	4	1	1	2	4	4	2	4	25	69,4
S6	3	4	1	2	2	2	0	2	4	20	55,6

Secção C – características superficiais da duna nos primeiros 200 m														
Parâmetros														
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	Σ	%
	Nível vulnerabilidade													
S1	3	0	2	2	4	4	1	-	4	4	2	-	26	65,0
S2	3	3	2	2	4	4	2	-	4	4	2	-	30	75,0
S3	2	1	2	2	4	4	2	-	4	4	2	-	27	67,5
S4	0	0	4	2	4	4	2	-	4	4	2	-	26	65,0
S5	2	3	2	2	4	4	2	-	4	4	2	-	29	72,5
S6	3	-	2	2	4	4	1	-	4	4	2	-	26	72,2

Secção D – pressão exercida pelos diversos utilizadores																
Parâmetros																
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	Σ	%
	Nível vulnerabilidade															
S1	4	4	2	-	4	2	-	-	2	2	2	-	-	-	22	68,8
S2	4	4	2	-	4	4	-	-	0	2	2	-	-	-	22	68,8
S3	4	4	2	-	4	4	-	-	0	0	2	-	-	-	20	62,5
S4	2	4	2	-	2	4	-	-	0	0	2	-	-	-	16	50,0
S5	4	4	2	-	4	4	-	-	0	2	2	-	-	-	22	68,8
S6	4	4	4	-	4	2	-	2	4	4	4	-	-	-	32	88,9

Secção E – medidas de protecção recentes													
Parâmetros													
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	Σ	%
	Nível vulnerabilidade												
S1	2	0	2	-	0	2	-	4	2	4	4	20	55,6
S2	2	0	0	-	0	2	4	2	2	0	4	16	40,0
S3	2	0	0	-	0	0	2	2	0	0	4	10	25,0
S4	0	0	0	-	0	0	-	0	0	0	4	4	11,1
S5	2	0	0	-	0	2	4	0	0	0	4	12	30,0
S6	2	3	2	-	0	2	-	1	0	0	4	14	38,9

ANEXO IV

Quadro A.IV.1. Níveis de vulnerabilidade obtidos pela aplicação da *checklist* 2 – lista de controlo de resiliência dunar.

Secção A – ocorrência de formas de erosão														
Parâmetros														
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	Σ	%						
	Nível vulnerabilidade													
S1	2	2	2	0	1	1	8	66,7						
S2	2	2	2	2	2	1	11	91,7						
S3	2	2	2	2	1	1	10	83,3						
S4	1	2	2	2	1	2	10	83,3						
S5	1	1	2	1	2	1	8	66,7						
S6	1	1	0	0	0	1	3	25,0						
Secção B – ausência/presença de dunas recentes														
Parâmetros														
	1.	2.	3.	4.	Σ	%								
	Nível vulnerabilidade													
S1	2	2	2	2	8	100								
S2	2	2	2	2	8	100								
S3	2	2	1	2	7	87,5								
S4	2	2	2	2	8	100								
S5	2	2	2	2	8	100								
S6	2	2	2	2	8	100								
Secção C – fixação das areias pela vegetação dunar														
Parâmetros														
	1.	2.	3.	Σ	%									
	Nível vulnerabilidade													
S1	1	1	0	2	33,3									
S2	1	0	2	3	50,0									
S3	1	0	1	2	33,3									
S4	0	0	1	1	16,7									
S5	0	0	1	1	16,7									
S6	1	1	1	3	50,0									
Secção D – degradação pelo uso														
Parâmetros														
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	Σ	%			
	Nível vulnerabilidade													
S1	1	1	1	-	-	1	-	1	0	5	41,7			
S2	2	2	1	-	-	1	-	0	0	6	50,0			
S3	2	2	1	-	-	1	-	0	1	7	58,3			
S4	1	2	1	-	-	1	-	0	0	5	41,7			
S5	2	2	1	-	-	1	-	0	0	6	50,0			
S6	2	1	2	-	-	2	-	0	0	7	58,3			
Secção E – eficácia/ineficácia do ordenamento e gestão														
Parâmetros														
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12	Σ	%
	Nível vulnerabilidade													
S1	1	1	2	-	0	-	1	1	1	1	2	2	12	60,0
S2	1	1	2	-	0	-	0	2	2	2	2	0	12	60,0
S3	2	2	2	-	0	-	0	2	2	2	2	0	14	70,0
S4	2	2	2	-	0	-	0	2	2	2	2	0	14	70,0
S5	1	2	2	-	0	-	0	2	2	2	2	0	13	65,0
S6	1	2	2	-	1	-	0	1	1	2	2	0	12	60,0

Quadro A.IV.1. Níveis de vulnerabilidade obtidos pela aplicação da *checklist* 2 – lista de controlo de resiliência dunar (continuação).

Secção OTA – obstáculo à livre transgressão de areias						
Parâmetros						
	1.	2.	3.	4.	Σ	%
	Nível vulnerabilidade					
S1	2	2	0	2	6	75,0
S2	2	2	0	2	6	75,0
S3	2	1	1	2	6	75,0
S4	2	0	0	2	4	50,0
S5	2	2	1	2	7	87,5
S6	2	2	1	2	7	87,5
Secção AT – atractividade turística						
Parâmetros						
	1.	2.	3.	4.	Σ	%
	Nível vulnerabilidade					
S1	2	2	2	2	8	100
S2	2	2	2	2	8	100
S3	2	2	0	0	4	50,0
S4	2	2	0	0	4	50,0
S5	2	2	2	2	8	100
S6	2	2	2	2	8	100

ANEXO V

Quadro A.V.1. Lista das espécies de vegetação dunar presentes nos distintos tipos morfo-ecológicos de duna, identificados nos seis perfis geo-ecológicos realizados sistema dunar de Peniche-Baleal (Primavera de 2008).

	DUNA BRANCA						DUNA CINZENTA						DUNA VERDE					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P1	P2	P3	P4	P5	P6
<i>Ammophila arenaria ssp. australis</i>	x	x	x	x	x	x	-	-	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-
<i>Anagallis monelli ssp. microphylla</i>	x	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x	-	x	x	x	x	x
<i>Anchusa calcarea</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	x	-
<i>Antirrhinum majus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x	x
<i>Armeria welwitschii</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x
<i>Artemisia crithmifolia</i>	x	-	x	x	x	x	-	-	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x
<i>Arctotheca calendulae</i>	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-
<i>Calystegia soldanella</i>	-	x	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Carpobrotus edulis</i>	x	x	x	x	x	x	-	-	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x
<i>Cerastium glomeratum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	x	-	-	-	-	-	-
<i>Corema album</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-
<i>Crucianella marítima</i>	x	x	x	x	x	x	-	-	x	-	x	x	-	-	-	-	-	-
<i>Cyperus capitatus</i>	-	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Elymus farctus ssp. boreoatlantica</i>	x	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eryngium maritimum</i>	x	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Euphorbia paralias</i>	x	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Helichrysum italicum ssp. picardii</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x
<i>Juniperus turbinata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x	x	x
<i>Lotus creticus</i>	x	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x
<i>Malcolmia littorea</i>	x	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x
<i>Medicago marina</i>	-	x	-	-	-	x	-	-	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ononis natrix ssp. ramosissima</i>	x	x	-	-	-	-	-	-	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x
<i>Otanthus maritimus</i>	x	-	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pancratium maritimum</i>	-	x	x	x	x	x	-	-	x	x	x	x	-	x	-	-	-	-
<i>Plantago coronopus</i>	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Reichardia gaditana</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	x	x	x	x
<i>Rubia peregrina</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x	x
<i>Sedum sediforme</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x	x	-	-	x	x	x	x
<i>Senecio gallicus</i>	x	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x
<i>Seseli tortuosum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Verbascum litigiosum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	-	-	-	-	x	-	-
<i>Vulpia alopecurus</i>	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-

